

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/05655

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> B81B3/00, B81C1/00, G02B26/08,  
H01L21/302

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> B81B3/00, B81C1/00, G02B26/08,  
H01L21/302

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-1998	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, 5506720, A (Daewoo Electronics Co., Ltd.), 09 April, 1996 (09.04.96), Fig. 9(k) & KR, 9703466, B & CN, 1116718, A & JP, 07-159708, A Fig. 9(k)	1-27
A	EP, 658779, A2 (SHARP KABUSHIKI KAISHA, OMRON CORPORATION), 21 June, 1995 (21.06.95), Fig.3 & US, 5543942, A & JP, 07-225303, A Fig. 3	1-27
A	US, 3544201, A (General Telephone and Electronics Laboratories Inc.), 02 January, 1968 (02.01.68)	1-27

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
11 January, 2000 (11.01.00)

Date of mailing of the international search report  
18 January, 2000 (18.01.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



E P



P C T

国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
(PCT18条、PCT規則43、44)

出願人又は代理人 F 0 0 4 6 の書類記号 5 9 W 0 0 0	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JP99/05655	国際出願日 (日.月.年) 13. 10. 99	優先日 (日.月.年) 13. 10. 98
出願人 (氏名又は名称) セイコーエプソン株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

#### 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記録した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は

☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 2(a) 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> B81B3/00, B81C1/00, G02B26/08,  
H01L21/302

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> B81B3/00, B81C1/00, G02B26/08,  
H01L21/302

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-1998年  
日本国実用新案登録公報 1996-1999年  
日本国登録実用新案公報 1994-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US, 5506720, A (Daewoo Electronics Co., Ltd.) 9. 4月. 1996 (09. 04. 96), Fig. 9 (k) & K R, 9703466, B & CN, 1116718, A & J P, 07-159708, A, 図9 (k)	1-27
A	EP, 658779, A2 (SHARP KABUSHIKI K AISHA, OMRON CORPORATION) 21. 6月. 1995 (21. 06. 95), Fig. 3 & US, 5543 942, A & JP, 07-225303, A, 図3	1-27
A	US, 3544201, A (General Telephone and Electronics Laboratories Inc.) 2. 1月. 1968 (02. 01. 68),	1-27

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 11. 01. 00

国際調査報告の発送日 18.01.00

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
神崎 孝之

3P 9037

電話番号 03-3581-1101 内線 3364



C (続き). 引用文献の カテゴリー*	関連すると認められる文献 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	Fig. 2	





## PCT REQUEST

Original (for SUBMISSION) - printed on 16.05.2000 07:27:39 PM

<b>0</b> <b>0-1</b>	<b>For receiving Office use only</b> International Application No.	
<b>0-2</b>	International Filing Date	
<b>0-3</b>	Name of receiving Office and "PCT International Application"	
<b>0-4</b> <b>0-4-1</b>	<b>Form - PCT/RO/101 PCT Request</b> Prepared using	<b>PCT-EASY Version 2.90</b> <b>(updated 08.03.2000)</b>
<b>0-5</b>	<b>Petition</b> The undersigned requests that the present international application be processed according to the Patent Cooperation Treaty	
<b>0-6</b>	<b>Receiving Office (specified by the applicant)</b>	<b>Japanese Patent Office (RO/JP)</b>
<b>0-7</b>	<b>Applicant's or agent's file reference</b>	<b>F004659WO00</b>
<b>I</b>	<b>Title of invention</b>	<b>MICROMACHINE AND MANUFACUTURING METHOD THEREFOR</b>
<b>II</b> <b>II-1</b> <b>II-2</b> <b>II-4</b> <b>II-5</b>	<b>Applicant</b> This person is: Applicant for Name Address:	<b>applicant only</b> <b>all designated States except US</b> <b>SEIKO EPSON COPORATION</b> <b>4-1, Nishi-Shinjuku 2-Chome</b> <b>Shinjuku-Ku, Tokyo 163-0811</b> <b>Japan</b>
<b>II-6</b> <b>II-7</b>	State of nationality State of residence	<b>JP</b> <b>JP</b>
<b>III-1</b> <b>III-1-1</b> <b>III-1-2</b> <b>III-1-4</b> <b>III-1-5</b>	<b>Applicant and/or inventor</b> This person is: Applicant for Name (LAST, First) Address:	<b>applicant and inventor</b> <b>US only</b> <b>KAMIJIMA, Shunji</b> <b>c/o SEIKO EPSON CORPORATION</b> <b>3-5, Owa 3-Chome,</b> <b>Suwa-Shi, Nagano 392-8502</b> <b>Japan</b>
<b>III-1-6</b> <b>III-1-7</b>	State of nationality State of residence	<b>JP</b> <b>JP</b>

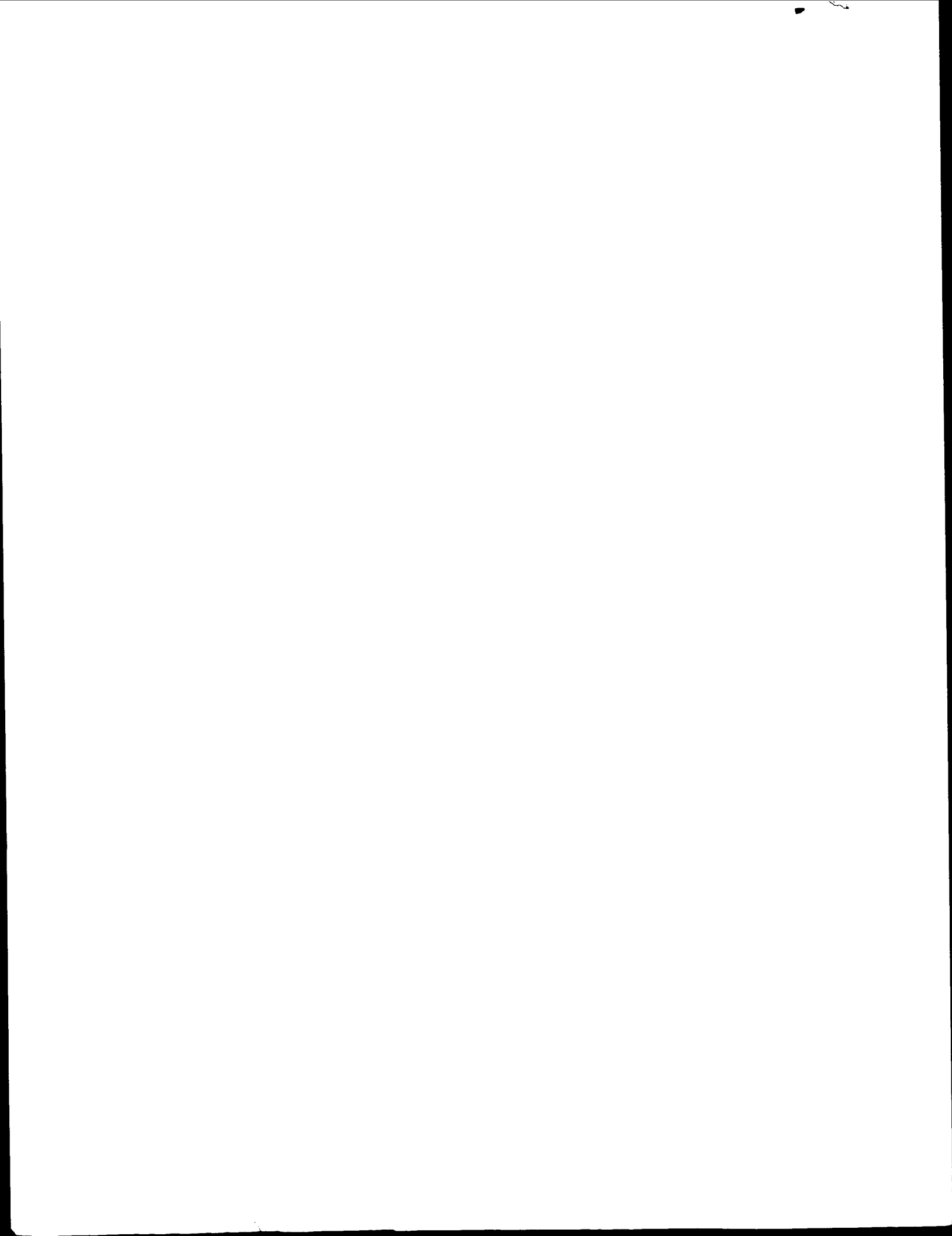


## PCT REQUEST

F004659WO00

Original (for SUBMISSION) - printed on 16.05.2000 07:27:39 PM

<b>III-2</b>	<b>Applicant and/or inventor</b>	
III-2-1	This person is:	<b>applicant and inventor</b>
III-2-2	Applicant for	<b>US only</b>
III-2-4	Name (LAST, First)	<b>YONEKUBO, Masatoshi</b>
III-2-5	Address:	<b>c/o SEIKO EPSON CORPORATION 3-5, Owa 3-Chome, Suwa-Shi, Nagano 392-8502 Japan</b>
III-2-6	State of nationality	<b>JP</b>
III-2-7	State of residence	<b>JP</b>
<b>III-3</b>	<b>Applicant and/or inventor</b>	
III-3-1	This person is:	<b>applicant and inventor</b>
III-3-2	Applicant for	<b>US only</b>
III-3-4	Name (LAST, First)	<b>TAKEDA, Takashi</b>
III-3-5	Address:	<b>c/o SEIKO EPSON CORPORATION 3-5, Owa 3-Chome, Suwa-Shi, Nagano 392-8502 Japan</b>
III-3-6	State of nationality	<b>JP</b>
III-3-7	State of residence	<b>JP</b>
<b>III-4</b>	<b>Applicant and/or inventor</b>	
III-4-1	This person is:	<b>applicant and inventor</b>
III-4-2	Applicant for	<b>US only</b>
III-4-4	Name (LAST, First)	<b>NISHIKAWA, Takao</b>
III-4-5	Address:	<b>c/o SEIKO EPSON CORPORATION 3-5, Owa 3-Chome, Suwa-Shi, Nagano 392-8502 Japan</b>
III-4-6	State of nationality	<b>JP</b>
III-4-7	State of residence	<b>JP</b>
<b>IV-1</b>	<b>Agent or common representative; or address for correspondence</b>	
	The person identified below is hereby/has been appointed to act on behalf of the applicant(s) before the competent International Authorities as:	<b>agent</b>
IV-1-1	Name (LAST, First)	<b>SUZUKI, Kisaburo</b>
IV-1-2	Address:	<b>c/o Intellectual Property Department SEIKO EPSON CORPORATION 3-5, Owa 3-Chome Suwa-Shi, Nagano 392-8502 Japan</b>
IV-1-3	Telephone No.	<b>0266-52-3139</b>
IV-1-4	Facsimile No.	<b>0266-58-3243</b>
<b>IV-2</b>	<b>Additional agent(s)</b>	
IV-2-1	Name(s)	<b>additional agent(s) with same address as first named agent KAMIYANAGI, Masataka; SUZAWA, Osamu</b>

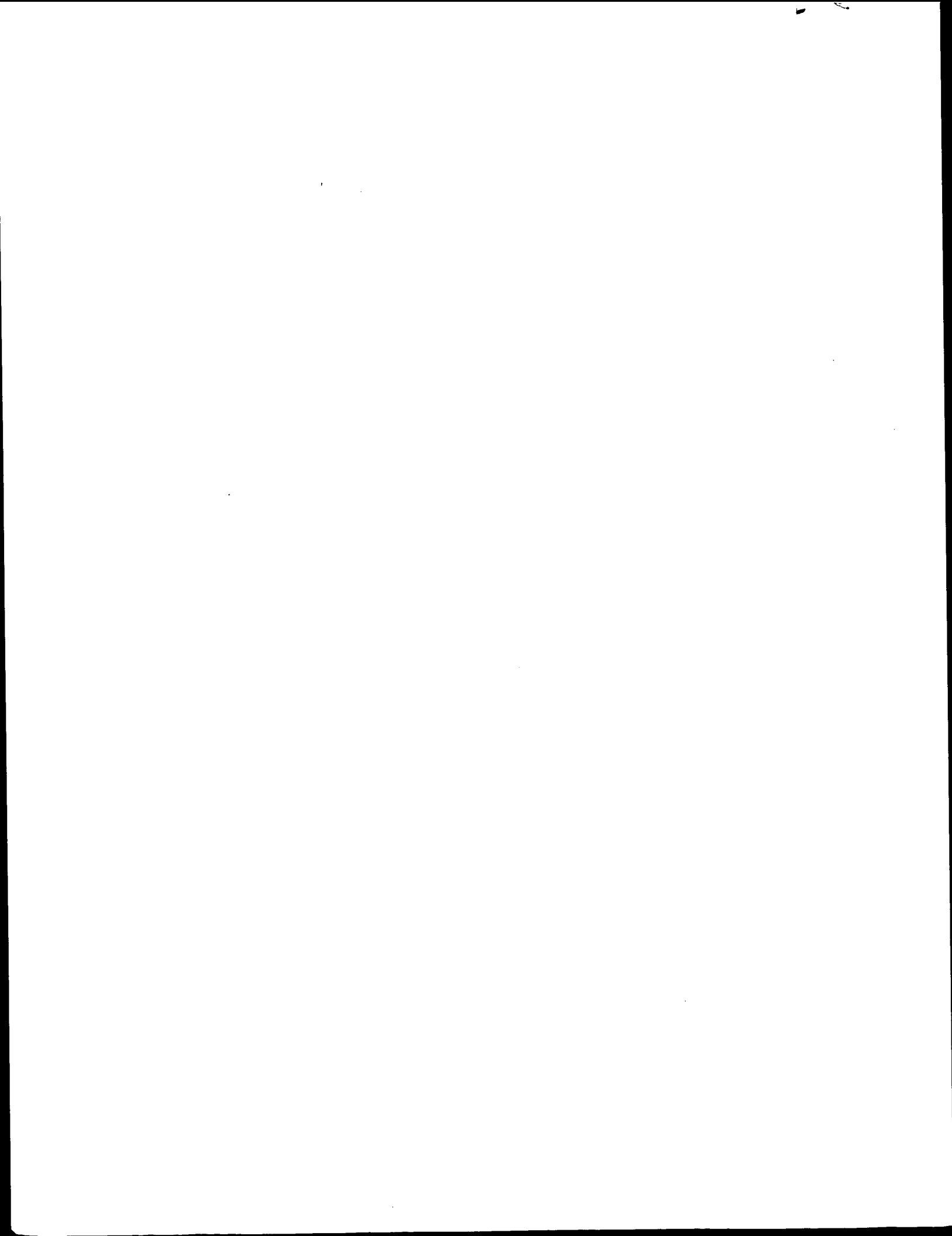


## PCT REQUEST

F004659WO00

Original (for SUBMISSION) - printed on 16.05.2000 07:27:39 PM

<b>V</b>	<b>Designation of States</b>		
<b>V-1</b>	Regional Patent (other kinds of protection or treatment, if any, are specified between parentheses after the designation(s) concerned)	<b>EP: AT BE CH&amp;LI CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE and any other State which is a Contracting State of the European Patent Convention and of the PCT</b>	
<b>V-2</b>	National Patent (other kinds of protection or treatment, if any, are specified between parentheses after the designation(s) concerned)	<b>KR US</b>	
<b>V-5</b>	<b>Precautionary Designation Statement</b> In addition to the designations made under items V-1, V-2 and V-3, the applicant also makes under Rule 4.9(b) all designations which would be permitted under the PCT except any designation(s) of the State(s) indicated under item V-6 below. The applicant declares that those additional designations are subject to confirmation and that any designation which is not confirmed before the expiration of 15 months from the priority date is to be regarded as withdrawn by the applicant at the expiration of that time limit.		
<b>V-6</b>	<b>Exclusion(s) from precautionary designations</b>	<b>NONE</b>	
<b>VI-1</b>	<b>Priority claim of earlier national application</b>		
VI-1-1	Filing date	<b>13 October 1998 (13.10.1998)</b>	
VI-1-2	Number	<b>10-291218(P)</b>	
VI-1-3	Country	<b>JP</b>	
<b>VI-2</b>	<b>Priority claim of earlier national application</b>		
VI-2-1	Filing date	<b>12 March 1999 (12.03.1999)</b>	
VI-2-2	Number	<b>11-67166(P)</b>	
VI-2-3	Country	<b>JP</b>	
<b>VI-3</b>	<b>Priority document request</b> The receiving Office is requested to prepare and transmit to the International Bureau a certified copy of the earlier application(s) identified above as item(s):	<b>VI-1, VI-2</b>	
<b>VII-1</b>	<b>International Searching Authority Chosen</b>	<b>Japanese Patent Office (JPO) (ISA/JP)</b>	
<b>VIII</b>	<b>Check list</b>	number of sheets	electronic file(s) attached
VIII-1	Request	<b>4</b>	-
VIII-2	Description	<b>34</b>	-
VIII-3	Claims	<b>4</b>	-
VIII-4	Abstract	<b>1</b>	<b>f004659wo00.txt</b>
VIII-5	Drawings	<b>10</b>	-
VIII-7	TOTAL	<b>53</b>	



## PCT REQUEST

F004659WO00

Original (for SUBMISSION) - printed on 16.05.2000 07:27:39 PM

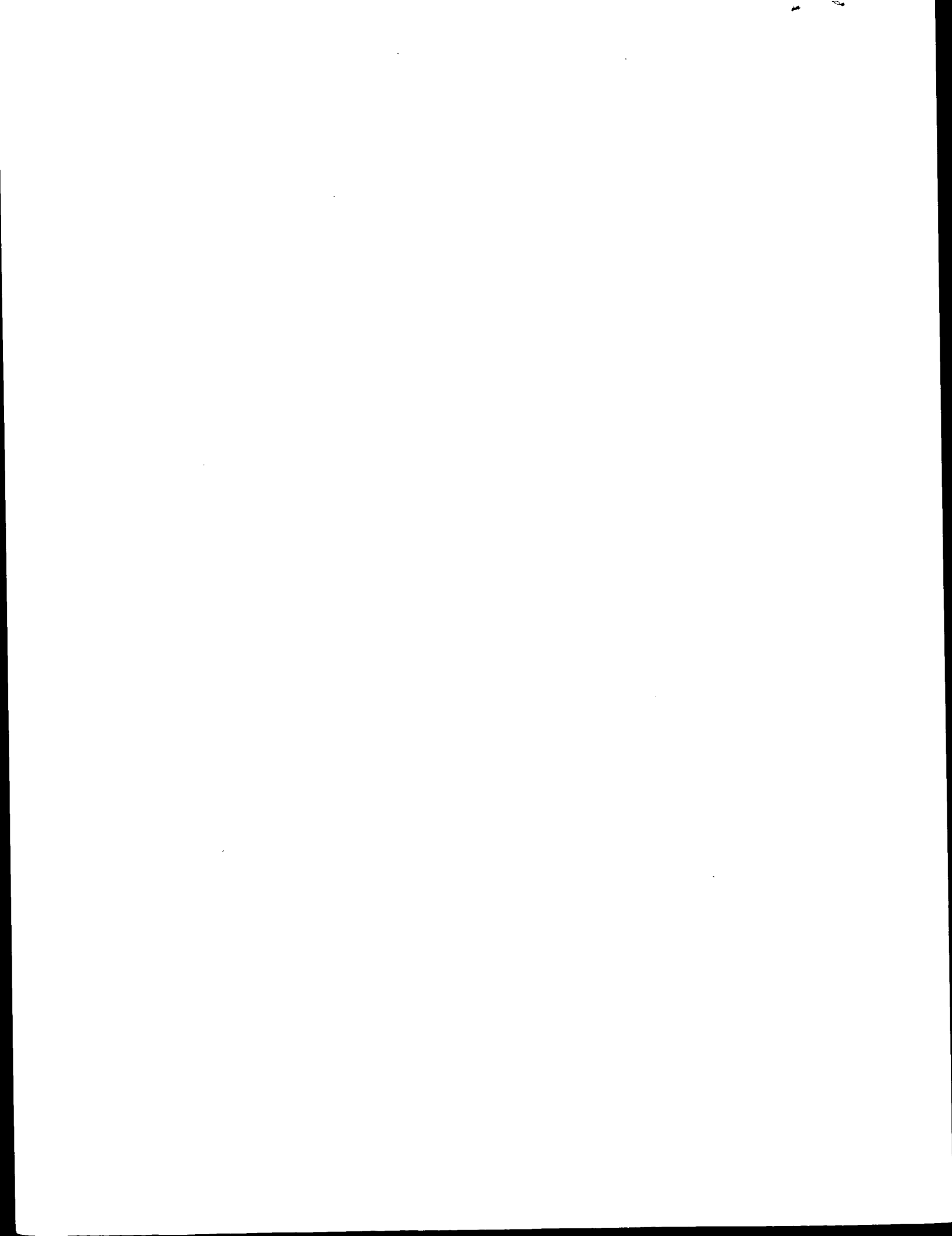
	Accompanying items	paper document(s) attached	electronic file(s) attached
VIII-8	Fee calculation sheet	✓	-
VIII-9	Separate signed power of attorney	✓	-
VIII-16	PCT-EASY diskette	-	diskette
VIII-17	Other (specified):	Document with Patent revenue stamps for Fees	-
VIII-17	Other (specified):	Request for Transmittal of Priority Document	-
VIII-18	Figure of the drawings which should accompany the abstract	2 (a)	
VIII-19	Language of filing of the international application	Japanese	
IX-1	Signature of applicant or agent		
IX-1-1	Name (LAST, First)	SUZUKI, Kisaburo	
IX-2	Signature of applicant or agent		
IX-2-1	Name (LAST, First)	KAMIYANAGI, Masataka	
IX-3	Signature of applicant or agent		
IX-3-1	Name (LAST, First)	SUZAWA, Osamu	

## FOR RECEIVING OFFICE USE ONLY

10-1	Date of actual receipt of the purported international application	
10-2	Drawings:	
10-2-1	Received	
10-2-2	Not received	
10-3	Corrected date of actual receipt due to later but timely received papers or drawings completing the purported international application	
10-4	Date of timely receipt of the required corrections under PCT Article 11(2)	
10-5	International Searching Authority	ISA/JP
10-6	Transmittal of search copy delayed until search fee is paid	

## FOR INTERNATIONAL BUREAU USE ONLY

11-1	Date of receipt of the record copy by the International Bureau	
------	--	--







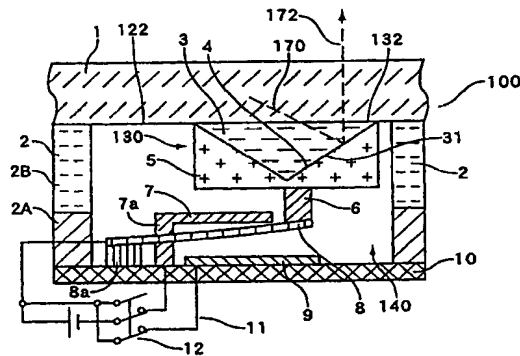
PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類7 B81B 3/00, B81C 1/00, G02B 26/08, H01L 21/302</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/21877</p> <p>(43) 国際公開日 2000年4月20日(20.04.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/05655</p> <p>(22) 国際出願日 1999年10月13日(13.10.99)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平10/291218 1998年10月13日(13.10.98) JP 特願平11/67166 1999年3月12日(12.03.99) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) セイコーエプソン株式会社 (SEIKO EPSON CORPORATION)[JP/JP] 〒163-0811 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ) 上島俊司(KAMIJIMA, Shunji)[JP/JP] 米窪政敏(YONEKUBO, Masatoshi)[JP/JP] 武田高司(TAKEDA, Takashi)[JP/JP] 西川尚男(NISHIKAWA, Takao)[JP/JP] 〒392-8502 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内 Nagano, (JP)</p>		<p>(74) 代理人 鈴木喜三郎, 外(SUZUKI, Kisaburo et al.) 〒392-8502 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社 知的財産部内 Nagano, (JP)</p> <p>(81) 指定国 KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54)Title: MICROMACHINE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(54)発明の名称 マイクロマシン及びその製造方法



(57) Abstract

A micromachine and a method of manufacturing the same which are suitable as or for a micromachine having a first dynamic fine structural portion constituting a driving portion, and a second static fine structural portion performing a switching function or a function of an optical element, the method comprising forming the second static fine structural portion on the first dynamic fine structural portion, or superposing the second static fine structural portion thereon and die transferring the same thereto, whereby the method enables the second fine structure to be formed without using at least a complicated step, such as a silicon process in an intermediate stage of the method, and into a complicated shape easily with a high reproducibility, and contributes to the improvement of the productivity. Especially, when a plurality of elements are arranged in an arrayed state as in a spatial light modulator, the die transfer techniques enable the second fine structure to be reproduced stably as compared with the techniques using a silicon process for forming all parts of a micromachine, whereby the subject method reduces the probability of occurrence of defects to a remarkably low level and contributes to the improvement of the yield.

本発明のマイクロマシン及びその製造方法は、駆動部となる動的な第1の微細構造部と、スイッチング機能あるいは光学素子としての機能を果す静的な第2の微細構造部とを備えたマイクロマシンに好適なものである。動的な第1の微細構造部の上に、あるいは重ねて型転写により静的な第2の微細構造物を形成することにより、第2の微細構造物については、少なくともシリコンプロセスなどの複雑な工程を経ることなく製造できる。そして、複雑な形状を容易に再現性良く形成できると共に生産性の向上にも寄与する。

特に、空間光変調装置のようにアレイ状に複数の素子を配置する際には、シリコンプロセスで全てを製造する場合に比べて、型転写は安定的に複製が可能なので欠陥の発生確率は格段に低くなり歩留りの向上にも大きく寄与する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AL アルバニア	EE エストニア	LC セントルシア	SD スーダン
AM アルメニア	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AT オーストリア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AU オーストラリア	FR フランス	LR リベリア	SI スロヴェニア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LS レソト	SK スロヴァキア
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ルクセンブルグ	SN セネガル
BF ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	SZ スワジランド
BG ブルガリア	GH ガーナ	MC モナコ	TD チャード
BJ ベナン	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TG トーゴ
BR ブラジル	GN ギニア	MG マダガスカル	TJ タジキスタン
BY ベラルーシ	GR ギニア・ビサオ	MK マケドニア	TZ タンザニア
CA カナダ	HR クロアチア	共和国	TM トルクメニスタン
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	ML マリ	TR トルコ
CG コンゴ	ID インドネシア	MN モンゴル	TT トリニダード・トバゴ
CH スイス	IE アイルランド	MR モーリタニア	UA ウクライナ
CI コートジボアール	IL イスラエル	MW マラウイ	UG ウガンダ
CM カメルーン	IN インド	MX メキシコ	US 米国
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	UZ ウズベキスタン
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	VN ヴイエトナム
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	YU ユーゴスラビア
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュージーランド	ZA 南アフリカ共和国
CZ チェコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	ZW ジンバブエ
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

## 明 細 書

## マイクロマシン及びその製造方法

## 5 技術分野

本発明は、画像表示装置などに用いられる光スイッチング素子その他のマイクロマシン及びその製造方法に関するものである。

## 背景技術

10 光をオンオフ制御できる光スイッチング素子としては液晶を用いたものが知られている。図13にその概略構成を示す。この光スイッチング素子900は、偏向板901及び908、ガラス板902及び903、透明電極904及び905、液晶906及び907より構成され、透明電極904及び905の間に印加する電圧を制御することにより液晶分子の方向を変えて偏向面を回転させ、光スイッチングを行なうものである。したがって、このような光スイッチング素子（液晶セル）を二次元に並べて液晶パネルとして画像表示装置を構成する事が可能である。

しかしながら、この液晶を用いた光スイッチング素子は、高速応答性が悪く、数ミリ程度の応答速度でしか動作しない。このため応答速度を要求される、光通信、光演算、ホログラムメモリー等の光記憶装置、光  
20 プリンター等に対し液晶を用いた空間光変調装置を用いることは難しい。また、液晶を用いた空間光変調装置では、偏向板により光の利用効率が低下してしまうという問題もある。

このため、さらに高速でスイッチングが可能であり、さらに、光の利用効率の高い光スイッチング素子が求められている。そのような光スイッチング素子の1つは、光を制御できる光学素子を機械的に動かして高速で変調できる空間光変調装置である。実用化が進んでいる1つの例は、マイクロミラーデバイスである。このデバイスは光学素子であるミラーをヨークで旋回可能に支持し、ミラーの角度を変えて入射光を変調

して出射するようになっている。

また、反射機能あるいは透過機能を備えた平面的な光学素子の位置を動かして入射光を変調することも可能であり、そのような光学素子を機械的に動かす空間光変調装置も可能である。本出願人が開発を鋭意進めている空間光変調装置はその1つであり、光を全反射して伝達可能な導光部の全反射面に対し、光を透過する抽出面を有するスイッチング部を接触させることにより全反射面からエバネセント光を抽出する（オン状態）とともに、このスイッチング部を1波長程度あるいはそれを以下の微小な距離だけ全反射面から離すことによりオフにするものである。この空間光変調装置は、光学素子として機能するスイッチング部を微小な距離だけ動かすことにより光をオンオフ可能なので、高速で光を変調制御可能な光スイッチング素子である。スイッチング部を駆動する手段としては電極に電圧を加えて生ずる静電力が主に用いられている。

この空間光変調装置においては、スイッチング部を波長オーダーの距離、たとえばコンマ数 $\mu\text{m}$ 程度のサブミクロンオーダーの距離を精度良く動かす必要がある。したがって、スイッチング部及び駆動系を製造するためにミクロン単位の精度が十分にでる製造方法が要求される。特にスイッチング部は、光学素子であるので、その表面の精度として、サブミクロンオーダーの移動距離に見合う、それ以下の精度が要求される。さらに、実際に空間光変調装置により2次元の画像を生成しようとする、複数のスイッチング素子をアレイ状に配置する必要があり、同一構成の多数のスイッチング素子をミクロン単位あるいはそれ以下の精度で隣接して製造する必要がある。

ミクロン単位で構成を作りこむ技術は現状でも開発されており、たとえば、半導体製造技術として進歩したフォトリソグラフィ技術がある。現状ではコンマ数ミクロン程度がデザインルールとなっており上述した上記の空間光変調装置を製造するのに必要な精度を得ることができる。この他にも酸化膜形成手法、結晶成長手法、CMP平坦化処理、レーザ加工、ゾルゲル成型、焼結、機械切削などの製造方法でミクロン単位の

構造物を製造する方法が開発されており、これらによってマイクロマシンと称されるミクロン単位の構成を備えた機械が製造されている。

しかしながら、これらの製造方法による製品の公差はコンマ数ミクロンであり、マクロマシンの構造物を作り込むことはできるが、それ以下の精度が必要とされる微細構造物の面精度まで確保できるものではない。また、複数のスイッチング素子の位置関係をコンマ数ミクロン単位以下の精度で保証することも難しい。さらに、微細構造の加工技術としてはもっとも進歩しているフォトリソグラフィ技術はシリコンを素材として加工する技術であり、その他の材料、たとえば、光学素子として好適な透過性の樹脂系の材料を加工することは難しい。

同様の問題は、光ファイバー間の信号をオンオフする光マイクロスイッチ、流体をオンオフするマイクロバルブなどの他のマイクロマシンでもあり、面精度あるいは隣接する微細構造物との位置関係、隙間、段差などを高精度で作り込むことができるマイクロマシン及びその製造方法を開発することが必要になっている。

そこで、本発明においては、スイッチング部のような微細な構造物を駆動するミクロンオーダーあるいはそれ以下のサイズのマシンを精度良く製造することができる構成のマイクロマシン及びその製造方法を提供することを目的としている。特に、上記のエバネセント光を利用した光スイッチング素子のような、平面的な要素を備えた微細なスイッチング部を移動制御して光を変調する機構を備えた空間光変調装置に適したマイクロマシン、すなわち、高精度な面を形成すると共に、微細構造の駆動系を作りこむことができるマイクロマシン及びその製造方法を提供することを目的としている。

さらに、複雑で入り組んだ微細構造が要求される駆動系と、透過性、面精度などといった駆動系と異なる特性の微細構造部とを備えたマイクロマシンを製造することができる構成及び製造方法を提供することも本発明の目的としている。

また、微細構造で精度の高い面と微細構造の駆動系を備えたユニット

をアレイ状に複数配置した構成を効率良く、また高精度で提供できるマイクロマシンの構造及びその製造方法を実現することも本発明の目的としている。

## 5 発明の開示

このため、本発明においては、マイクロレンズあるいはマイクロプリズムの製造方法として用いられている型転写の技術を、駆動系を有するマイクロマシンの製造に用いるようにしている。しかしながら、型転写では微細な構造の面精度は保証できるものの、ばねあるいは膜などの駆動系自体を作り込むことができない。そこで、本発明においては、所定の形状の第2の微細構造部を第1の微細構造部により駆動するマイクロマシンを製造する際に、駆動系である第1の微細構造部を製造した後に、第1の微細構造部に重ねて、第2の微細構造部を、その少なくとも1部を型転写により形成する成型工程を用いてマイクロマシンを製造するようにしている。この製造方法により、少なくとも1部が型転写により形成された所定の形状の第2の微細構造部と、この第2の微細構造部を駆動する第1の微細構造部とを有するマイクロマシンを提供することが可能である。

本発明のマイクロマシン及びその製造方法においては、全体を1つの技術で製造するのではなく、微細な構造に加えて面精度などを要求される第2の微細構造部は、それに適した型転写を採用することにより精度の高い微細構造部を効率良く製造できるようにしている。また、型転写であれば材質の制限も少ないので空間光変調装置などに要求される透過性のある微細構造を容易に作りこむことができる。一方、ばね、膜、支柱などが複雑に組み合わさる可能性のある駆動系を実現する第1の微細構造部はそれに適した方法、たとえば、シリコン基板上にフォトリソグラフィ工程とドライエッチング、ウエットエッチング、酸化膜形成、結晶成長、CMP平坦化処理などを単独で、あるいは組み合わせるシリコンプロセス、レーザ加工、ゾルゲル成形及び焼結、機械切削などの方法

で形成する。第 1 の微細構造部には、外部動力により稼動する構造、外部エネルギーにより稼動するアクチュエータや、周囲の環境の変化に応じて変化するセンサー型アクチュエータなどが含まれる。

外部動力により稼動する微細構造部としては、ギア、ヒンジ、板ばねなどが含まれる。また、外部エネルギーにより稼動するアクチュエータとしては、シリコンプロセスのフォトリソグラフィ技術で形成される静電式アクチュエータや、ゾルゲル法で形成される piezo アクチュエータ、スパッタ法で形成される piezo 薄膜アクチュエータ、積層型 piezo アクチュエータ、封印した流体をヒータにより加熱し流体の熱膨張による力を利用した加熱アクチュエータ、形状記憶合金を組み合わせ、各々の形状記憶合金を別々に加熱することによりアクチュエータ機能を有する形状記憶合金アクチュエータなどが含まれる。さらに、周囲の環境の変化により稼動する素子としては、異なる膨張係数を持つ金属を重ね合わせ、周囲の温度変化に合わせ金属の熱膨張で変形するバイメタルアクチュエータなどが含まれる。

第 2 の微細構造部を型転写により形成することにより、微細な構造を精度良く再現することが可能であり、特に、面の平坦度を確保でき、また、隣り合う部材などとの位置関係をきわめて精度良く、容易に制御できる。したがって、第 2 の微細構造部は、光や流体をオンオフする、すなわちスイッチングする機能を実現するのに適している。また、本発明の製造方法では、面の平坦度が非常に精度良く確保できるので、第 2 の微細構造部に、さらに光学素子としての機能を持たせるのに適している。したがって、本発明の製造方法にかかるマイクロマシンは、それにより光を第 2 の微細構造部で変調するミクロンオーダの空間光変調装置を実現するのに好適である。

さらに、型転写により第 2 の微細構造部を形成することにより、微細な構造を精度良く再現でき、また、位置関係をきわめて精度良く定められるので、同一の型を用いて複数の第 2 の微細構造部を製造することにより、これらがアレイ状に、2 次元的に配置されたマイクロマシンを製

造するのに適している。また、柱などの第1の微細構造部では駆動されない第3の微細構造部を備えているマイクロマシンにおいては、第2及び第3の微細構造部を同一の型を用いて転写することにより容易に、そして非常に精度良くこれらの位置関係を制御できる。このため、第2及び第3の微細構造部の間でサブミクロンオーダの段差や隙間が要求されるマイクロマシンにおいても、それらの寸歩をきわめて精度良く、安定して再現できる。

第2の微細構造部全体を型転写により形成することも可能であるが、面精度あるいは位置精度が必要される部分だけを少なくとも型転写により形成することにより、本発明の効果を得ることができる。複数の第2の微細構造部、あるいは第2及び第3の微細構造部を同一の型から転写する場合も同様である。そして、転写する型は複数回の使用できるので、空間光変調装置などのマイクロマシンを機械切削や、シリコンプロセスで全体を製造する場合と比較し、複雑な形状が容易に製造できるだけでなく、生産コストも大幅に下げることができる。

駆動系である第1の微細構造部としては電力で制御できる静電式のアクチュエータが空間光変調装置などとして特に有用である。したがって、第1の微細構造部の製造方法としては微細な寸法の膜及び電極などを容易に作りこめるシリコンプロセスのフォトリソグラフィ技術が非常に有効である。一方、このプロセスによって作り込まれた第1の微細構造部は、その上に型転写により第2の微細構造部を形成する際にストレスなどにより破壊される可能性がある。したがって、第1の微細構造部の周辺に設けられた犠牲層をエッチングしないで第2の微細構造部を成型し、その後に犠牲層をエッチングすることが望ましい。さらには、フォトリソグラフィ技術によって第1の微細構造部を形成しない場合であっても、破壊防止のために第1の微細構造部の周囲に樹脂の塗布による犠牲層を形成し、あるいは、プラズマCVDなどでSiO<sub>2</sub>やアルミニウムなどの犠牲層を形成しておくことが望ましい。

このように可動部である第1の微細構造部を犠牲層により固定するこ



とにより、第2の微細構造部を転写で製造するときに第1の微細構造部へのストレスを軽減することが可能となる。同時に、第1の微細構造部及びその周辺の犠牲層を平坦化する処理を行なうことにより、第1の微細構造部と第2の微細構造物の位置合わせ精度が向上する。また、この

5

時の平坦化処理は、機械研磨、機械化学研磨が有効である。

また、第1の微細構造部と、第2の微細構造部との結合面、すなわち、第1の微細構造部の境界面には、第2の微細構造部が型転写で樹脂が多く用いられることから、結合性を高めるため金属膜を形成しない方が望ましい。第1の微細構造部が、第2の微細構造部が転写される範囲に金属膜を有する構成であれば、シリコンなどの非金属層をその範囲に設ける事が望ましい。第1の微細構造を形成する金属膜と、型転写で形成する第2の微細構造部を接合する必要がある場合は、それらの密着性を向上するために表面を荒らし、あるいは楔型の形状を持つ接触面とすることが必要になる。

10

本発明において型転写により第2の微細構造部を形成するときに用いられる型は、精密機械加工で形成する方法や、シリコン基板に対してフォトリソグラフィ技術で形成する方法、レジストを直接感光させることにより造形（光造形）する方法、レーザ加工により形成する方法、放電加工による形状を形成する方法などが含まれる。また、光が透過する材料を用いることで複数の工程を経なくても、光が透過する型を起こすことも可能である。

15

20

まず、シリコン基板に対して異方性エッチングと等方性エッチングとを組み合わせることにより微細な構造を精度良く形成する型を作成することができる。たとえば、シリコン基板を結晶方位面とマスクを110面に合わせてKOH溶液でエッチングを行なうことにより、異方性エッチングが進み109.48度の角度の逆三角形が形成できる。この逆三角形が規定深さに達したところで、フッ素系ガスであるSF<sub>6</sub>等で等方性のドライエッチングを行なうことにより垂直方向の構造を形成できる。このようにして、第2の微細構造を成型するための型を形成できる。

25

また、第 3 の微細構造を同時に成型するための型も形成できる。

また、第 1 の微細構造部の上に、紫外線硬化樹脂などの光硬化型の樹脂を塗布し透過性の型を用いて型転写することも有効である。第 1 の微細構造部のベースの位置合わせマークと、第 2 の微細構造部を形成する型に設けられた位置合わせマークを利用し、光学的情報処理に基づき位置合わせを行なうことができるので、第 1 及び第 2 の微細構造部の位置関係をさらに精度良く拘束できる。第 1 の微細構造部と第 2 の微細構造部の高さ方向の位置関係をより精度良く調整するためには、第 1 の微細構造部に光硬化樹脂を塗布して型を載せた状態で、チャンバなどに入れ硬化前の型成型される光硬化樹脂の周囲を大気圧より低い圧力にするか、さらに真空状態にすることにより樹脂あるいは樹脂と型の間などから気泡を効率よく除去することができる。そして、透過性の型を用いているので、この状態で光（紫外線）を照射することにより光硬化樹脂を硬化させて精度の高い第 2 の微細構造部を歩留まり良く製造することができる。

透過性の型は、光が透過するガラス材や、プラスチック部材を機械加工することにより製造可能であるが、より微細な形状を高精度で作るに当たっては、第 2 の微細構造部を形成するための 1 次型を不透明なシリコンベースでエッチングなどを用いて精度良く成型し、それを透明樹脂に転写することにより 2 次型を作成することができる。そして、この透過性の 2 次型で型転写することにより、外側から第 2 の微細構造部となる光硬化樹脂を硬化させるために光照射できる。このとき、第 1 の微細構造部との位置関係を制限する構造を 2 次型に設けておくことが望ましいことは上述したとおりである。

2 次型を形成する光を透過する材料としては、紫外線硬化樹脂（樹脂は熱硬化樹脂、エポシキ系乾燥型樹脂、ポリカーボネイト、ポリミド、紫外線硬化樹脂などを用いる事が可能であるが、ここでは紫外線硬化樹脂を例にとって製造方法を説明する。紫外線硬化樹脂の一例としてはラジカル重結合系である、不飽和ポリエステルやアクリル型のポリエステル

ルアクリル、ウレタンアクリル、エポキシアクリル、ポリエーテルアクリル、側鎖アクリロイル型アクリル樹脂や、チオール・エン型のポリチオール・アクリル誘導体、ポリチオール・スピロアセタール系、やカチオン重合系であるエポキシ型エポキシ樹脂が使用できる。)を用いることができる。そして、エッチングにより第2の微細構造部に対応する形状、複数の第2の微細構造部あるいは第3の微細構造部を同時に転写する場合、それらに対応する形状を形成したシリコン基板の表面に紫外線硬化樹脂を塗布し、紫外線照射を行なうことにより2次型を作成できる。この際、紫外線硬化樹脂上にポリカーボネイトやガラス、ポリミド等の透明板材を載せて紫外線硬化することにより、シリコン製の1次型と透過性の2次型の離形が容易にできるのでさらに望ましい。

型転写によって第2の微細構造部を形成する場合は、1回の型転写で所定の形状あるいは性能を得ることも可能であるが、型転写を複数回行うことにより、第2の微細構造部の内部に面精度の高い構成部分を作り込むことも可能である。たとえば、第1の微細構造物部に第2の微細構造部のV溝形状を備えた第1の部分を型転写により形成した後、その面を反射面にするため、スパッタ、蒸着、結晶成長などの手段により、反射率の高いアルミニウム、金、銀、白金などの金属膜を数百オームストロング程度で成膜する。

さらに、第2の微細構造部のV溝形状、場合によっては第3の微細構造となるポスト部分となる領域に紫外線樹脂を塗布し、平坦化したガラス、ポリカーボネイト、アクリルなどの透明部材を転写型として押し付ける。これにより、平坦化した透明部材の上から紫外線を照射する事により、紫外線硬化樹脂が硬化し、反射性のV溝形状と、抽出面となる平坦な表面とを持った第2の微細構造部を製造することができる。このようにして、上述したエバネセント波を抽出する面と、反射面を備えたスイッチング用の第2の微細構造部を製造することができ、エバネセント波を用いた空間光変調装置となるマイクロマシンを製造することができる。

この際、転写型に第3の微細構造部であるポストの部分と、第2の微細構造部であるスイッチング部の部分とで所定の段差を設けておけば、ポストとスイッチング部の位置関係を精度良く決めるとともに、それらの間の段差をも精度良く制御することができる。このとき、樹脂を塗布した状態でその周囲を大気圧より低くするか、真空状態にすることにより、樹脂内の気泡が取り出され、より平坦なマイクロプリズムが作られ、スイッチング精度が向上し、安定的なスイッチングと高コントラストが得られることは上述したとおりである。

また、光を取り出す第2の微細構造部を樹脂で形成することにより、ガラス材料で形成した場合に比べ硬度が低く、型転写により光抽出面の平坦度が確保できる。したがって、光を全反射しながら導く導光部の面に対する第2の微細構造部の面（抽出面）の密着度が向上し、より安定的なスイッチングと高コントラストの空間光変調装置を本発明のマイクロマシンにより供給することができる。

が可能となる。

さらに、型転写とフォトリソグラフィ技術とを組み合わせることで第2の微細構造部を形成することも可能である。たとえば、第2の微細構造部の不要な部分を、マスキング、ウェットエッチング、ドライエッチングといったフォトリソグラフィ技術を用い除去することができる。また、第2の微細構造部が樹脂で作られている場合は、エキシマレーザの照射による除去も可能である。この際、第1の微細構造部を固定するために設けられた犠牲層をエッチングして除去することができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施例にかかる空間光変調装置の平面構成を示す図である。

図2は、図1に示す空間光変調装置を構成する光スイッチング素子の構造を示す断面図である。

図3は、図2に示す光スイッチング素子の製造過程を示す図であり、

型転写によりV溝構成を製造する工程を示す図である。

図4は、図2に示す光スイッチング素子の製造過程を示す図であり、V溝構成が形成された状態を示す図である。

5 図5は、図2に示す光スイッチング素子の製造過程を示す図であり、反射面を製造する過程を示す図である。

図6は、図2に示す光スイッチング素子の製造過程を示す図であり、プリズムを製造する過程を示す図である。

図7は、図2に示す光スイッチング素子の製造過程を示す図であり、不要な部分を除去する過程を示す図である。

10 図8は、上記と異なる空間光変調装置の構成を示す平面図である。

図9は、図8に示す空間光変調装置の構成を示す断面図である。

図10は、図9に示す空間光変調装置の製造過程を示す図である。

図11は、本発明にかかるマイクロマシン光スイッチング装置の構成及び動作を示す図である。

15 図12は、本発明にかかる流体バルブの構成及び動作を示す図である。

図13は、従来の液晶を用いた光スイッチング素子を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

## 20 空間光変調装置

以下では、空間光変調装置を製造する例を示しながら本発明についてさらに説明する。

### 空間光変調装置の概略構成

25 本例の空間光変調装置110は、図1に示すように複数のスイッチング素子100が2次元にアレイ状に配置されており、この空間光変調装置110により画像を表現する場合は、各々のスイッチング素子100が1つの画素としての機能が果たせるようなスイッチング装置である。図2に1つのスイッチング素子100を抜き出し、断面を用いてスイッ

チング素子 100 の概略構成を示してある。本例の光スイッチング素子 100 は、入射した光 170 を全反射して複数のスイッチング素子に対し伝達可能な導光部 1 の全反射面（下面）122 に対し、透光性の抽出面 132 を備えたスイッチング部 130 を接触させてエバネセント光を抽出するものである。そして、抽出した光をスイッチング部 130 の内部で導光部 1 に向かって反射し、導光部 1 から光 172 を出力できるようになっている。この光スイッチング素子 100 は、スイッチング部 130 の 1 波長程度、あるいはそれ以下の微小な動きによって、入射光 170 を高速で変調（オンオフ制御）することが可能である。このため、  
5 スwitching部 130 を駆動するために静電力を用いた駆動部 140 が設けられている。

さらに詳しく説明すると、光スイッチング素子 100 を構成する光ガイド（導光部、カバーガラス）1 には、入射光 170 に対する透明性の高い素材のガラスが用いられている。この光ガイド 1 に対しスイッチング部 130 が微細な動き（1 波超長さ以下）で、光のスイッチング（オンオフ）できるように、光ガイド 1 はスイッチング部 130 と同一方向から伸びたポスト 2 で支えられ、スイッチング部 130 との間に適当なクリアランスが形成できるようになっている。光ガイド 1 の下面は全反射面 122 で、図 2（b）に示すようにスイッチング部 130 が接触しなければ全反射するように入射光 170 は光ガイド 1 に入力される。  
15

一方、図 2（a）に示すように、スイッチング部 130 の抽出面 132 が全反射面 122 と平行な向き（第 1 の方向）で接近あるいは密着してエバネセント光を抽出できる位置（第 1 の位置）になると、導光部 1 から入射光 170 がスイッチング部 130 に抽出される。本例のスイッチング部 130 は抽出された入射光 170 を導光部 1 に向けて反射可能なマイクロプリズム 3 を備えており、抽出され光は導光部 1 を通ってほぼ垂直な出射光 172 となり出力される。また、図 2（b）に示すように、スイッチング部 130 が第 1 の位置に対し、光ガイド 1 から離れた第 2 の位置に移動して、抽出面 132 が全反射面 122 から離れると、  
25

光 1 7 0 は全反射され、導光部 1 からエバネセント光は抽出されない。したがって出射光 1 7 2 は導光部 1 から出射されることはなく出射光は得られない。

このように、本例の光スイッチング素子 1 0 0 においては、スイッチング部 1 3 0 を第 1 及び第 2 の位置に移動する事により、入射光 1 7 0 を出射光 1 7 2 として変調する事ができる。このため、本例の光スイッチング素子単体でもスイッチングを行う空間光変調装置を構成することが可能であり、また、複数の光スイッチング素子を並べることによりさらに多種多様な目的で光を変調処理することが可能となる。そして、光スイッチング素子 1 0 0 を図 1 に示すようにアレイ状に配置することにより、出射光 1 7 2 をオンオフして画像を表示する画像表示装置としての機能を持った空間光変調装置を実現することができる。したがって、本例のエバネセント波を用いた光スイッチング素子あるいは空間光変調装置は、先に説明した液晶あるいはマイクロミラーデバイスなどの空間光変調装置と同様の用途及び目的で用いる事ができる。さらに、エバネセント光は、スイッチング部 1 3 0 を波長程度あるいはそれ以下の距離を移動する事により制御できるので、スイッチング部 1 3 0 を非常に高速に動作させる事が可能であり、液晶などより数段動作速度の速い光スイッチング素子を提供することが可能である。

このように、本例の光スイッチング素子 1 0 0 は、入射光 1 7 0 が入射する導光部 1 に対し、スイッチング部 1 3 0 と、これを駆動する駆動部 1 4 0 とを積層した構造となっており、スイッチング部 1 3 0 及び駆動部 1 4 0 が本発明にかかるマイクロマシンの製造方法により製造されている。スイッチング部 1 3 0 をさらに詳しく説明すると本例のスイッチング部 1 3 0 は、エバネセント波を抽出するための抽出面 1 3 2 が導光部 1 に面して形成されており、内部に入射光 1 7 0 をスイッチングするためのマイクロプリズム 3、入射光 1 7 0 を反射する面 4 を形成する反射膜 3 1、入射光 1 7 0 を導光部 1 側に反射させる角度を制限する V 溝構造 5 と、を備えている。

また、スイッチング部 130 の下方に位置する駆動部 140 は、スイッチング部 130 と連結するための支持台 6、支持台 6 をつうじてスイッチング部 130 を導光部 1（上側）側に動かす際に用いるアドレス上電極 7（第 1 の電極）、アドレス上電極 7 の下に位置し、スイッチング部 130 に直結しているとともにそれ自身が可動する中間電極 8（第 2 の電極）、この中間電極 8 の下方のシリコン基板 10 の側に動かす際に用いるアドレス下電極 9（第 3 の電極）を備えている。アドレスした電極 9 は、シリコン基板 10 の上（表面）に形成されており、アドレス上電極 7 はシリコン基盤 10 から上方に伸びたアドレス上電極の支持台 7a によって支えられている。また、中間電極 8 は中間電極の支持台 8a によって支えられている。

この駆動部 140 はシリコン基板 10 の上に形成されており、シリコン基板（IC チップ）10 には、駆動部 140 を制御する駆動回路（電源部）11 が構成されている。まず、図 2（a）に示すオン状態では、電源部 11 の電源スイッチ 12 を切り替える事により、アドレス上電極 7 に対し電源部 11 から直流電力が供給される。このため、アドレス上電極 7 と中間電極 8 の間に生ずる静電力により中間電極 8 は上方に引き上げられる。この結果、中間電極 8 に作られた構造物である支持台 6 は中間電極 8 に連動して上昇し、同様に支持台 6 の上に形成された V 溝構造 5 及びマイクロプリズム 3 を備えたスイッチング部 130 は連動して、第 1 の位置に移動する。これにより、入射光 170 は導光部 1 から抽出面 132、マイクロプリズム 3 を経て反射面 4 で反射され、出射光 172 として光信号が出力される。

一方、図 2（b）に示すオフ状態では、電源スイッチ 12 を切り替える事によりアドレス下電極 9 に対し電源部 11 から直流電力が供給される。したがって、アドレス下電極 9 と中間電極 8 との間に生ずる静電力により中間電極 8 は下方に引き下げられる。このため、中間電極 8 の上に作られた構造物である支持台 6 は中間電極 8 に連動してシリコン基板 10 の側に下降する。同様に支持台 6 の上に形成された V 溝構造 5 及び



マイクロプリズム 3 を備えたスイッチング部 1 3 0 は連動して第 2 の位置に移動する。したがって、抽出面 1 3 2 は導光部 1 から離れ、入射光 1 7 0 は抽出されず、全反射面 1 2 2 で反射する。このため、出射光 1 7 2 は導光部 1 から出射されずエバネセント波として光信号が出力されることはない。

### 空間光変調装置の製造方法

次に空間光変調装置 1 1 0 の製造方法を、光スイッチング素子 1 0 0 を中心に説明する。特に、光スイッチング素子 1 0 0 のうち、駆動部 1 4 0 及びスイッチング部 1 3 0 が本発明にかかるマイクロマシンの製造方法により製造されており、これについて詳しく説明する。

次に、この光スイッチング素子 1 0 0 の製造方法について説明する。図 3 は光スイッチング素子の製造過程のスイッチング部 1 3 0 の V 溝構造 5 を形成する工程を示した図である。この工程に先立って、シリコン基板 1 0 の上に、3 層構造の駆動部 1 4 0 がフォトリソグラフィ技術により製造されている。すなわち、シリコン基板 1 0 の上に第 1 層としてアドレス下電極 9 が形成され、第 2 層として中間電極 8 及び支持台 8 a が形成され、さらに、第 3 層としてアドレス上電極 7 及び支持台 7 a が形成されている。また、第 3 層として導光部 1 を支持するポスト 2 の下半部 2 A が形成されている。

これらは次のようにして製造される。まず、第 1 層のアドレス下電極 9 はシリコン基板 1 0 の上にプラズマ CVD によって形成されたポリシリコン層であり、不要な部分はフォトリソグラフィ工程とエッチング工程により除去する。アドレス下電極 9 は導電性の材料であれば良くアルミニウム、白金、銅、金などの金属膜や、Si 基板へのボロンドーピングでも良い。このアドレス下電極 9 の形成に当たっては、スパッタリングや、蒸着、または、インプラなどの他の製造方法を採用することも可能である。また、アドレス下電極 9 の形成と平行して、ポスト 2 A、中間電極 8 を支えるための中間電極ポスト 8 a、アドレス上電極 7 を支え

るためのアドレス上電極の支持台 7 a の形成も平行して行うことも可能である。

次に、エッチングによって除去されたエリアに、プラズマ CVD によって SiO<sub>2</sub> の犠牲層 2 2 を充填する。さらに、ポスト 2 A、アドレス上電極の支持台 7 a、中間電極 8、及びその支持台 8 a となる部分の不要な犠牲層をフォトリソグラフィ工程とエッチング工程で除去した後、更にプラズマ CVD でポリシリコンを積層し第 2 層を形成する。同様に、フォトリソグラフィ工程とエッチング工程を繰り返して第 3 層を形成し、このようにして駆動部 1 4 0 をフォトリソグラフィ工程とエッチング工程によって形成することができる。

駆動部 1 4 0 を製造したところで、駆動部 1 4 0 の各層を製造するために積層した犠牲層 2 2 は除去せずに、駆動部 1 4 0 上に樹脂 2 1 を塗布し、V 溝構造 5 を形成するための型 2 0 を樹脂 2 1 に押し付けて V 溝形状を転写する。樹脂 2 1 は熱硬化樹脂、エポキシ系乾燥型樹脂、ポリカーボネイト、ポリミド、紫外線硬化樹脂などを用いる事が可能であるが、ここでは紫外線硬化樹脂を例にとって製造方法を説明する。紫外線硬化樹脂の一例としてはラジカル重結合系である、不飽和ポリエステルやアクリル型のポリエステルアクリル、ウレタンアクリル、エポキシアクリル、ポリエーテルアクリル、側鎖アクリロイル型アクリル樹脂や、チオール・エン型のポリチオール・アクリル誘導体、ポリチオール・スピロアセタール系、やカチオン重合系であるエポキシ型エポキシ樹脂が使用できる。

#### 転写用の型の製造

ここで転写用の型の製造について説明しておく。本例の転写用の型 2 0 は 2 次型であり、まずシリコン基板にフォトリソグラフィ技術で 1 次型を形成する。シリコン基板上にレジストを塗付しマスクし露光する。その後、不要なレジストを取り除き、KOH 溶液でエッチングを行う。この時、ウエハ（シリコン基板）は結晶方位面とマスクを 1 1 0 面に合

わせてエッチングを行なう事により、異方性エッチングが進み 54.74 度の角度でエッチングが進む。従って、両サイドから 54.74 度の角度でエッチングが進むので、結果的には 109.48 度の角度の逆三角形形状でエッチングが進む事となる。この逆三角形が規定の深さに達したところで、レジストを除去し、再度レジストを表面に塗布する。

次に、V 型溝構造 5 を備えたスイッチング部 130 を第 2 の微細構造部としたときに、それに隣り合う第 3 の微細構造部となるポスト 2 を作るための形状のマスキングをして露光する。不要なレジストを取り除きフッ素系ガスである SF<sub>6</sub> 等でドライエッチングを行ない垂直方向に等方エッチングする。このエッチングにより得られた深さは、ポスト 2 を形成する深さであるとともに、フォトリソグラフィ工程で作成された駆動部 140 のポストの下半部 2A と 2 次型があたる部分 20a となり、第 1 の微細構造部である駆動部 140 と、第 2 の微細構造部であるスイッチング部 130 の高さ関係を制御するための度当たりとなる。また、1 次型となる同一のシリコン基板に第 2 の構造物（スイッチング部 130）と第 3 の構造物（ポスト 2）をエッチングで形成することにより、同じ 2 次型にそれらの微細構造及び位置関係などが反映される。したがって、このようにして成型された 2 次型を用いることにより、第 2 の微細構造と第 3 の微細構造を同一型からの転写によって製造できるので、第 2 の構造物と第 3 の構造物の位置関係がきわめて精度良く拘束される。

このような V 溝形状を形成するための 1 次型は、機械加工で金属、ガラス、プラスチック材などを用いて製造することも可能であるが、ここでは、シリコン基板に酸化膜を設け結晶方位 110 面に合わせ、フォトリソグラフィ工程と異方性エッチングを行なう事により所定の角度（54.74 度）の V 溝構造を形成した。更に、フォトリソグラフィ工程と等方向性エッチングを行なうことにより、垂直エッチングを行ない垂直エッチングの深さを制御する事により、ポスト 2B が形成される深さが決まり、スイッチ部 130 の厚みの制御の位置決めが可能となる。

このようにして形成されたシリコン基板の 1 次型に紫外線硬化樹脂の

エポキシ樹脂を塗布し、紫外線硬化することにより、シリコン型を反転した2次型が得られ、これが図3で用いられる転写型20となる。そして、この2次型を用いる事により、シリコン製の型では不可能である、紫外線照射により樹脂を硬化することが可能となり、紫外線硬化樹脂を用いて第2の微細構造部であるスイッチ部130のV溝構造5の形成ができる。

また、透過性の2次型20の外側から紫外線を照射して樹脂21を硬化し、その後、型20を取り外した状態を示してある。このように、硬化した樹脂21によるV溝構造5が、第1の微細構造部である駆動部140の上に形成される。この段階では型転写により成型された樹脂21は、型合わせの機能を備えたポスト2Aを除く範囲に広く形成されている。そして、樹脂21の厚みは、1次型で等方向性エッチングを行ない2次型20の度あたり20aとなった厚み（深さ）で制御されている。

それから、透過性の2次型20の外側から紫外線を照射して樹脂21を硬化してV溝構造5を形成する場合、2次型20の転写面に光が透過できる程度の厚みの金属膜を形成することにより、2次型の離型をよくすることができる。使用する金属膜としては、アルミニウム、ニッケル、白金、銅、金、鉄、チタン又はこれらの金属を含む合金が好ましく、その膜厚は10ないし1000オングストローム程度であればよい。例えば、ニッケルを金属膜として使用した場合は、2次型20の転写面に50オングストローム程度の厚みの膜を形成することにより、V溝部の樹脂21の硬化を妨げること無く2次型20の離型をよくすることができる。

#### 反射面の製造

図5を参照して反射面4の成膜について説明する。V溝構造が成形された樹脂21の上に光スイッチングを行なうための反射面4となる膜31を形成する。反射膜31は反射率の高いアルミニウム、白金、銀、金等の金属膜を用い、蒸着、スパッタリング、プラズマCVDによって成膜

可能であるが、今回はスパッタリングの例で説明する。シリコン基板 10 の上にフォトリソグラフィ工程及びエッチング工程により第 1 の微細構造である駆動部 140 を製造し、その上に V 溝構造 5 となる樹脂 21 が型転写されたものを、スパッタマシンのトレイに固定する。このとき、合  
5 わせて V 溝構造を除くエリアには、反射膜の成膜を抑制するためのマスク 30 を固定する。マスク 30 により、ポスト 2A の上や、型転写により成型された樹脂 21 のうち、不要な部分で後にエッチングによって取り去る部分を覆う事により、これらの部分にポスト 2 の製造あるいはエッチングの障害になる金属などが入らないので、その後に行うポスト  
10 2 の形成精度を向上でき、また、不要部分のエッチングを効率良く行うことができる。

一方、このマスク 30 は、V 溝構造部分を十分にカバーして成膜できるように V 溝構造より大きな範囲をマスク領域から外す、すなわちオープンにする必要がある。このようなマスキングを行い、スパッタリ  
15 ングを行なう事により、樹脂 21 の V 溝構造 5 となる部分の上には反射膜 31 が形成される。より微細な V 溝構造に対して成膜する場合は、むしろマスクを設けない方がより均一な反射膜 31 が得られることが本願発明者らの実験により確認されている。

## 20 抽出面の製造

次に図 6 を参照してマイクロプリズム 3 及びポスト 2B の形成について説明する。この工程では、平坦型 40 を用いてマイクロプリズム 3 及びその平坦な表面を形成し、抽出面 132 とする。平坦型 40 は、さら  
25 は、ガラス、プラスチック板や、金属板、シリコン板など、精度のよい平面を実現できる平坦なものであれば特に材質は問わない。本例では、プリズム 3 に先に説明した紫外線硬化樹脂を用いて形成する事から、平坦化型 40 としては紫外線を透過できる石英ガラスを用いている。

V 溝形状を形成した樹脂 21 に対してスパッタリングで反射膜 31 を

成膜した上と、ポスト 2 A の上に紫外線硬化樹脂 2 5 を塗布し、それら  
の上部に平坦化型 4 0 を載せる。そして、平坦型 4 0 の側より紫外線を  
照射する。紫外線硬化樹脂は紫外線が照射される事により硬化すること  
により、V 溝構造 5 の上に反射膜 3 1 を挟んでマイクロプリズム 3 が形  
5 成される。同時にポスト 2 A の上に充填された紫外線硬化樹脂も硬化し  
ポスト 2 B が形成される。この工程において、平坦型 4 0 とマイクロプ  
リズム 3、平坦型 4 0 とポスト 2 B の間をより高精度で平坦にするには、  
紫外線照射前の平坦化型 4 0 が取り付けられた状態で、シリコン基板 1  
0 をチャンバ内に入れ、真空状態に引いた状態で数分放置することが望  
10 ましい。樹脂の周囲を減圧あるいはほぼ真空状態にして大気圧よりも低  
い状態に保持することにより、樹脂内に溶け込んだ気体が放出される。  
このため、樹脂 2 5 の内部の気泡の影響を受ける事が無くなるので、樹  
脂 2 5 の表面が全体にわたり一様に平坦化型 4 0 に密着し、さらに平坦  
な抽出面 1 3 2 を作れる。

15       このようにして第 2 の微細構造部であるスイッチング部 1 3 0 の内部  
の構造及び外部の面精度が必要とされる構造が製造される。スイッチ  
ング部 1 3 0 が駆動部 1 4 0 により光を変調する際に移動する距離はサブ  
ミクロンオーダー、たとえば  $0.5 \mu$  程度である。したがって、スイッチ  
ング部 1 3 0 の全体のサイズはミクロンオーダーであり、抽出面の精度と  
20 してはサブミクロン以下のさらに高い精度が必要となる。また、ポスト  
2 との間隔もサブミクロンからミクロンオーダーであり、これらの干渉が  
心配される部分はサブミクロンあるいはそれ以下の精度で確実に製造す  
ることがスイッチング動作を安定的に行うには重要である。上記の工程  
では、このよう高精度の必要とされる部分を型転写により製造しており、  
25 型の精度で微細構造の面及び隙間あるいは段差などを制御することが可  
能となる。そして、その型を繰り返し用いることにより、安定した品質  
のスイッチング素子 1 0 0 及びこれを用いた空間光変調装置 1 1 0 を提  
供することができる。

特に、複数のスイッチング素子 1 0 0 により空間光変調装置 1 1 0 を

構成する場合は、同一構造のスイッチング素子 1 0 0 を微小な面積に作り込むことが要求される。本発明の方法においては、複数のスイッチング素子を同一の型で同時に並行して形成することが可能であり、また、型転写されるので品質の揺らぎも少ない。したがって、歩留まりの良い

5      スwitching素子及び空間光変調装置を簡単に、短期間に低コストで提供することができる。

#### 不要部分の除去

次に図 7 を参照し、上記のように型転写により成型された V 形状構造

10      5 の不要部分 2 3 を除去してスイッチング部 1 3 0 を製造する工程について説明する。

上記のように型転写により形成された部分のうち、スイッチング部 1 3 0 を動かす際に障害になるエリアに充填及び硬化した部位の不要樹脂 2 3 を取り去るため、スイッチング素子 1 0 0 に必要なスイッチング部

15      1 3 0 の上部及びポスト 2 の上部にレジストを塗布し、フォトリソグラフィ技術を用いてポスト 2 の上部及びスイッチング部 1 3 0 の上部にマスク 5 0 を形成する。マスク 5 0 を形成した後、不要樹脂 2 3 をエッチングにより除去するとともに、マスク 5 0 からはみ出した不要な反射膜 2 4 もエッチングに除去する。さらに、合わせて駆動部 1 4 0 を保護する

20      ために除去せずにおいた犠牲層 2 2 をエッチングにより除去する。このようにして、可動する第 1 の微細構造物である駆動部 1 4 0 の上に、型転写により第 2 の微細構造物であるスイッチング部 1 3 0 を形成できる。このエッチングにおいては、樹脂はウエットエッチングにより除去し、金属反射膜はドライエッチングにより除去するのが適している。また、

25      不要樹脂 2 3 はエキシマレーザの照射によっても除去する事が可能である。犠牲層 2 2 の除去においては、フッ酸等でのウエットエッチングを用いる事により除去が可能である。

以上に説明した通り、駆動部となる第 1 の微細構造物の上に型転写によりスイッチングを行う第 2 の微細構造物を転写する際には、第 1 の微

細構造物を犠牲層 22 などを用いて固定した状態で行なうことが望ましい。駆動部となる第 1 の微細構造物の機能を損なう事無く第 2 の微細構造物を形成する事が可能だからである。また、全ての工程の最後に、  
5 フォトリソグラフィ工程で形成したマスク 50 を除去する事にすれば、  
スイッチング部 130 のマイクロプリズム 3 の表面の光抽出面 132 を劣化させる事無く、スイッチング素子 100 を構成する駆動部 140 と  
スイッチング部 130 を備えたマイクロマシンを製造することが可能となる。この状態でポスト 2 の上部に導光部 1 を載せて固定する事により  
光スイッチング素子 100 が完成する。

10 本例の製造方法で製造されたスイッチング素子 100 においては、マイクロプリズム 3 を樹脂を用いて形成する事によりガラス材料で形成した場合に比べ硬度が低く、型転写により光抽出面 132 の平坦度が確保できる。したがって、両方の要素により、抽出面 132 の導光部 1 への  
15 密着度が向上し、より安定的なスイッチングと高コントラストの空間光変調装置が実現できる。

#### 空間光変調装置の異なる製造例

図 8 及び図 9 にエバネセント波を利用した空間光変調装置 110 の異なる例を示してある。この空間光変調装置 110 は、 $3 \times 3$  に光スイッチング素子 101 が隣との間隔 103 を設けてアレイ状に配置された能  
20 動型光学素子である。そして、これらアレイ状に配置された光スイッチング素子 101 を囲むように支持壁 102 を設け、この支持壁 102 により導光部（光導入プリズム）1 が支持されている。各々の光スイッチング素子 101 は、上記と同様に光スイッチング部 130 と、これを駆  
25 動する駆動部 140 とを備えている。駆動部 140 は、シリコン基板の表面に形成された下電極 9 と、この上方に配置された上電極 7 と、さらにこれら上電極 7 及び下電極 9 の間で動く中間電極 8 とを備えており、  
中間電極 8 の弾性力とこれらの電極間に電位差を与える事により働く静電力によってスイッチング部 130 を駆動する。また、マイクロ光学素



子である光スイッチング部 130 は、V 形の反射面 4 を持ち、この V 形の反射面 4 の上部は透明部材によって充填されたプリズム 3 となり、その上面は平面で導光部 1 の全反射面 122 に密着させることにより導光部 1 から光（エバネセント光）を抽出できる構造になっている。したがって、本例の光スイッチング素子 101 も、上記と同様に、光導入プリズム 1 の下面 122 に斜入射した光線 170 は、スイッチング部 130 がアクチュエータ（駆動部）140 によって下方に移動している時には、マイクロ光学素子 101 の上面と光導入プリズムの下面 122 とに間隔が生ずる為、光導入プリズム 1 の下面 122 で全反射する。一方、マイクロ光学素子である光スイッチング部 130 がアクチュエータ 140 によって上方に移動して、光スイッチング部 130 の上面 132 と光導入プリズムの下面 122 が接触している時には、光導入プリズムの下面 122 に斜入射した光線 170 は、マイクロ光学素子 130 の上面を透過し、光線 172 となって上方に出射する。なお、さらに詳細な動き等については、上記のスイッチング素子と同様につき、ここでは省略する。

壁 102 はアレイ状に配置された光スイッチング素子 101 を囲む構造であり、アレイ状の光スイッチング素子 101 が配置された空間 105 に不活性気体を充填したり、周囲の圧力、たとえば大気圧より内部の気体を加圧又は減圧保持して封止ができる構造となっている。これにより、光スイッチング素子 101 が保護され、信頼性、耐久性が飛躍的に向上する。

一方で、壁 102 は導光部の下面 122 に接触し、導光部 1 を固定する機能も備えており、壁 102 により導光部 1 を支持することにより、スイッチング部 130 が導光部の全反射面 122 に接触する位置（第 1 の位置）に確実に移動し、また、全反射光が光スイッチング部 130 の内部に進入しない距離（ $0.5\mu\text{m}$  以上）の第 2 の位置に確実に移動する間隔を確保する事が出来る。このため、壁 102 の上面 102s に対し、スイッチング部 130 の抽出面 132 との間にサブミクロンオーダー

の段差 109 を設けるようにこれらを型転写により製造している。

### 段差の製造

図 10 に基づき、段差 109 を形成する方法を説明する。

5 図 10 (a) は第 2 の微細構造部であるスイッチング部 (マイクロ光学素子) 130 を動かす為の第 1 の微細構造部であるアクチュエータ構造 (駆動部) 140 をフォトリソグラフィ工程により作成し、犠牲層 22 をエッチングする前にスイッチング部 130 の原形を樹脂成形によって作成している様子を示した図である。この段階では、下電極 9、中間電極 8、上電極 7 及び中間電極 8 とスイッチング部 130 とを接続する  
10 為の支柱 6 がすでに出来上がっており、これらの隙間に犠牲層 22 が詰まっている。この駆動部 140 の構造の上に V 形の反射ミラーとなる構成を、上記の例と同様に樹脂で型転写により形成し、さらに、透明樹脂 25 を V 形の溝 5 に充填する。その後、段差 109 を有する成形型 41  
15 を樹脂 25 にかぶせ、この転写型 41 により、V 形の溝に充填された透明樹脂の上面をフラットにしつつ、壁 102 の上面 102s との段差 109 を正確に形成する。

その後、図 10 (b) に示すように、レジスト膜 201 を塗布し、マスクを用いてエッチングパターン 202 をパターンニングする。その後、  
20 パターンニングによってレジスト膜 201 の除去された場所 202 が垂直にエッチングされる。この結果、レジスト 201 を除去すれば、図 10 (c) に示す形状になる。樹脂のエッチングでは犠牲層 22 はエッチングされない為、犠牲層 22 の表面が露出する。したがって、その後、さらに犠牲層エッチングを行い、犠牲層 22 を除去する。これにより、  
25 図 10 (d) に示す様に、駆動部 140 のアクチュエータが静電力で動ける空間 205 が生成される。

このように、エッチング等により非常に精度の高い段差形状 29 を成形型 41 に形成し、その成形型 41 を転写することにより、第 2 の微細構造である光スイッチング部 130 の抽出面 132 と、支持壁 102 の

上面 102s とを同一型で形成することが可能であり、形成する型が同じであるため、これらの間に正確に段差が転写される。この結果、正確なサブミクロンの段差 109 が容易に形成できる。

さらに、本例の空間光変調装置 100 においては、段差を形成するためにシリコン基板 10 の上に伸びた下半部 102A の上に、転写によって作られた樹脂製の支持部 102B が存在する。したがって、その上面 102s に反射膜 108 を蒸着し、光導入部 1 の中を伝搬する光線 170 が段差 102 の上面に設けられた反射膜 108 によって全反射と同じ方に反射するようにしている。従って、光導入部 1 の全反射面 122 に樹脂製の段差の上面 102s が密着しても、段差上部の樹脂部 102B に光線 170 が透過し散乱光等が発生する事がない。このため、非常に光スイッチングの S/N 比が高い、信頼性のある能動型光学素子が得られる。

#### 15      マイクロマシン光スイッチの製造例

上記では、エバネセント光を抽出することにより光を変調できる光スイッチング部と、これを微小距離駆動する駆動部とを備えた構造を本発明にかかるマイクロマシンとして設計し、本発明にかかるマイクロマシンの製造方法により製造する例を示した。以下では、さらに、マイクロマシン光スイッチを例に挙げて説明する。マイクロマシン光スイッチは、光ファイバーで通信されるデータをスイッチングするものである。このため、光ファイバーの伝送直線部分を切断し空間を用いて光を飛ばす構造とし、空間部分にアクチュエータ上に固定された光の遮光物を置き、それをアクチュエータで動かす事により、光ファイバー間を転送される光を遮光または、光通信の邪魔にならないエリアに退避させるようになっている。したがって、マイクロマシン光スイッチにより光ファイバー間を伝送される信号をスイッチングできる。

図 11 に、本発明に係わる構造のマイクロマシン光スイッチ装置 56 を示してある。本例のマイクロマシン光スイッチ装置 56 は、図 11

(a) で示す状態では、遮光物 5 4 が光信号 5 7 の伝達に障害とならないエリアに退避しており、出射側光ファイバー 5 1 から出射された光信号 5 7 が空間 5 8 を経て受光側光ファイバー 5 2 に受光され、光信号 5 7 が伝達される。一方、図 1 1 (b) では、遮光物 5 4 が空間 5 8 に現れており、この遮光物 5 4 で光信号 5 7 を遮断する事により、光信号 5 7 は受光側光ファイバー 5 2 に伝達されない状態となる。この様にして本例のマイクロマシン光スイッチ装置 5 6 は、伝送される光信号 5 7 を空間 5 8 で遮光物 5 4 を用いてスイッチングすることができる。

マイクロマシン光スイッチ装置 5 6 の構造をさらに詳しく説明する。  
第 2 の微細構造部となる遮光部 5 4 を駆動する第 1 の微細構造のピエゾアクチュエータ 5 0 は、それを駆動するための回路 1 1 が作りこまれたシリコン基板 1 0 に配置されている。駆動回路 1 1 は電源回路 1 1 であり、スイッチ 1 2 によりピエゾアクチュエータ 5 0 に対する電源供給を制御する。このシリコン基板 1 0 の表面からポスト 2 が伸びており、これによってピエゾアクチュエータ 5 0 及び光ファイバー固定台 5 3 がシリコン基板 1 0 の上に固定されている。

本例においても、第 1 の微細構造である駆動部のピエゾアクチュエータ 5 0 と、ポスト 2 とはフォトリソグラフィ工程により製造されており、その上に、ピエゾアクチュエータ 5 0 の動作に応じて光信号 5 7 を遮光する為の第 2 の微細構造物である遮光物 5 4 が型転写により製造されている。また、ポスト 2 の上には、第 3 の微細構造部である光ファイバー固定台 5 3 が型転写により製造されている。固定台 5 3 には型転写により光ファイバーを固定する為の光ファイバ固定 V 溝が形成されている。

本例のマイクロマシン光スイッチ 5 6 においては、この可動する第 1 の微細構造物であるピエゾアクチュエータ 5 0 が、スイッチ 1 2 により電力がオン・オフされると、ピエゾアクチュエータ 5 0 の上下に供給された電荷により膨張または収縮する。本例では、ピエゾアクチュエータ 5 0 であるピエゾ薄膜の変形がオンのとき (図 1 1 (a)) ではシリコン基板側 1 0 に変形する。この時、第 1 の微細構造物であるアクチュエータ上

に型転写により形成された第2の微細構造物である遮光物54は、出射側光ファイバー51から受光側光ファイバー52に向けて空間58中を伝送される光信号57の伝播に障害とならない位置に退避する。よって、光ファイバー支持台53に固定された出射側光ファイバー51から、受光側光ファイバー52に光信号が伝送される。

次に、電源スイッチ12を切り替えてピエゾアクチュエータ50への電荷の供給を遮断すると、図11(b)に示すように、ピエゾアクチュエータ50のピエゾ薄膜の膨張または収縮による変形が解消され、本来の形状に変化する。これにより、ピエゾアクチュエータ50上に型転写により形成された遮光物54は、ポスト2の上に形成された第3の微細構造物である支持台53同士の間の空間58に移動する。したがって、光ファイバー支持台53に固定された出射側光ファイバー51から、受光側光ファイバー52への光信号57が遮光され、光信号57の伝播が行われなくなる。

本例のマイクロマシン光スイッチ56においては、光ファイバーを固定する光ファイバー固定台53に光ファイバ固定V溝55が、型転写により形成されている。したがって、出射側光ファイバー51及び受光側光ファイバー52が所定の位置に精度よく、さらに容易に固定できる。そして、第2の微細構造である遮光部54、第3の微細構造である光ファイバー固定台53及び光ファイバ固定V溝55を同一の型から転写することにより製造しているので、これらの位置関係は非常に精度よく定まっている。したがって、出射側光ファイバー51、受光側光ファイバー52及び遮光部54の位置合わせをするまでもなく、光ファイバー51及び52を取り付けるだけで遮光物54により確実に光信号57をオン・オフすることができる。

さらに、第3の微細構造である出射側光ファイバー51及び受光側光ファイバー52の固定台53が同一の型から転写されて製造されるので、光ファイバ固定V溝55に各々のファイバーを位置合わせするだけで出射側光ファイバー51と受光側光ファイバー52の中心線は精度よく合

う。したがって、空間 5 8 を伝播する光信号 5 7 は受光側光ファイバー 5 2 で受光されるときに信号減衰を最小限に留める事ができる。また、型から転写することにより、同一性能のマイクロ光スイッチ 5 6 を 1 次元、2 次元あるいは 3 次元に並べて製造することの可能であり、光コンピュータの入出力あるいはその他の情報処理装置を構成するスイッチング素子などへの応用が考えられる。

本例の光スイッチは、光ファイバーの例であるが、光ファイバーの代わりに導波路を双方に設け、その間で遮光部が動くものであってももちろん良い。また、光ファイバの固定用の溝の形状は V 溝に限定されることはなく、四角、U 溝などであってももちろん良い。

#### マイクロマシン光スイッチの製造方法

マイクロマシンの一例であるマイクロマシン光スイッチ装置の製造方法についてさらに説明する。このマイクロマシンでは、第 1 の微細構造物をベース上に形成するため、シリコン基板やアルミニウム等の金属板上にシリコンプロセスである、フォトリソグラフィ工程のみならず、シリコン、窒化シリコン、シリコンナイトライト、酸化シリコンやアルミニウム、白金、金、ニッケル、銅、黄銅などの金属膜デポジット、ドライエッチングやウエットエッチングなどによるエッチング、スパッタリング、蒸着、CVD、ゾルゲル及びベークによる薄膜形成工程などを用いることができる。

これらの工程により駆動部である第 1 の微細構造物が形成できると、この第 1 の微細構造物に重ねて樹脂、溶解されたガラスあるいは金属を塗布し、型転写により第 2 の微細構造物を形成する。第 2 の構造物の型転写時には、周囲圧力を通常の状態に比べ低くする事により、樹脂やガラス、金属中の気体を外部に出すことができることは上述したとおりである。そして、このようなプロセスを入れることにより、型転写で成形される第 2 の微細構造部の精度を向上させる事ができる。型転写による第 2 の微細構造物の硬化に当たっては、冷却や、紫外線硬化、加熱硬化

などが有効である。特に型に光が透過する材料を用いた場合には、視覚によるアライメントが容易にできるのに加え、紫外線などの光を照射することにより樹脂を硬化できる。

5       このようにして第2の微細構造物、さらには同一型を用いて第3の微細構造物を転写して製造した後、フォトリソグラフィ工程とエッチング工程を用いて製造した第1の微細構造物を固定している犠牲層の除去を行なう。最後に、フォトリソグラフィ工程で作成したマスク膜を取り去りマイクロマシンが完成する。上記では、第2の微細構造物を転写で成形するとき、シリコンプロセスで形成した第1の微細構造物及びそれらの構造物の周辺を固定することを説明している。第1の微細構造物を他の技術、たとえば、機械加工で形成した場合においても、樹脂やアルミニウム、 $\text{SiO}_2$ などの犠牲層でこれら第1の微細構造を固定した後、第2あるいは第3の微細構造物を型転写で形成することが望ましい。

10       上述した空間光変調装置と同様に、型転写による第2の構造物の形成に当たっては、可動する第1の構造物が、型転写による第2の構造物形成時のストレスにより破壊しないように、後から排除できる犠牲層で固定する事が有効であることが本願発明者らの実験により確認されている。

20       また、型転写に当たっては、第2の微細構造物と第3の微細構造物を同一の型から転写することにより、第1の微細構造物、第2の微細構造物及び第3の微細構造物の間の位置関係を容易に、そして精度良く制御する事ができる。また、型は複数回の使用が可能なので、機械切削やシリコンプロセスで第2及び第3の微細構造を製造するのと比較すると、より複雑な形状を低コストで製造することができる。

25       さらに、転写型は光が透過するガラスや金属、樹脂に対し機械加工で作る方法や、光造形形成する方法、シリコンプロセスでシリコン基板上に等方向エッチングと異方性エッチングで形状を形成した後、この型から更に2次型を作り第2の構造物転写して作る事により、シリコンの異方性エッチングの形状の反転などの形状が得られる事から、1次型は作成しやすい形状を形成すれば良いという利点がある。

第 2 の構造物の転写時に形成された第 2 の構造物周辺の不要物を、後から取り去る工程を設けた場合については、第 2 の構造物がギアなどのアスペクト比の高い形状に近い位置に配置される場合には、複数の第 2 の構造物を型転写によって形成することが困難である。その場合、予め複数の第 2 の構造物が配置される範囲に、第 2 の構造物を形成する為の形状を型転写により設けた後、フォトリソグラフィ工程及びエッチングによって複数の第 2 の構造物を形成する場合に有効である。

### 流体バルブの製造例

次に、本発明にかかる他のマイクロマシンの例としてさらに流体バルブを説明する。流体バルブは空間を遮る仕切り板に遮断された空間をつなぐ穴をオリフィスとし、周囲温度に応じて動く機能のあるアクチュエータ上に設けた弁とこのオリフィスとを組み合わせることにより、オリフィスと弁間の距離が温度により自動制御され、流体の移動を自発的に制限することができるものである。

図 13 に本発明にかかる構造のマイクロマシンを用いた流体バルブ 62 の概略構成を示してある。この流体バルブ 62 は、第 1 の微細構造部となるバイメタルアクチュエータ 65 と、このアクチュエータ 65 の先端に設けられた第 2 の微細構造部となる弁体 63 とを備えている。弁体 63 はバイメタルアクチュエータ 65 によって仕切り板 61 に形成されたオリフィス 64 に挿入される位置に支持されている。これらバイメタルアクチュエータ 65 及び仕切り板 61 はポスト 2 を介して固定する為のベース 60 に支持されている。

このマイクロマシンの駆動部であり、第 1 の微細構造部となるバイメタルアクチュエータ 65 は、2 種類の膨張係数の異なる金属膜が積層された構造であり、上記で説明した例と同様に微細構造のバイメタルアクチュエータはフォトリソグラフィ技術により容易に製造することができる。

バイメタルアクチュエータ 65 の先端に重ねて配置されている弁体 6



3 は、ガラス、シリコンなどに比べ樹脂やゴムなどの硬度の低い樹脂を転写用の型を用いて成形したものである。硬度のそれほど高くない樹脂を採用することにより、オリフィス 6 4 と弁体 6 3 の間の密着度が向上し、仕切り板 6 1 で区切られる第 1 の空間 6 7 と第 2 の空間 6 8 を効率  
5 良く、確実に遮断できる。バイメタルアクチュエータ 6 5 の材料は金属なので、弁体 6 3 を樹脂で成形した場合、密着性が悪い場合がある。そのため第 1 の微細構造物であるバイメタルアクチュエータ 6 5 の上（表面）に、非金属の材料であるシリコンやガラスなどの層を設け、非金属製の層を挟んで弁体 6 3 を第 2 の微細構造部として型転写により形成すること  
10 が望ましい。

また、弁体 6 3 は、ニードル型にする事により、流体弁の開口率をリニアに制御できるという利点が得られる。型転写は微細で複雑な形状も簡単に再現することができるので、本例のように型転写により弁体 6 3 を製造するのであれば、精度が高くミクロンオーダーあるいはそれ以下の  
15 微細なニードル形状を簡単に製造することができる。また、フォトリソグラフィ技術と型転写を組み合わせることにより、信頼性の高い製品を多量に供給できるので、これらマイクロバルブを 1 次元あるいは 2 次元などに並べた製品を歩留まり良く提供することができる。

図 1 2 (a) は、周囲温度が低い状態で流体バルブ 6 2 が閉まった状態を示してある。ベース 6 0 に固定されたポスト 2 を通じて片端を固定されたバイメタルアクチュエータ 6 5 は温度の低い状態で、はほぼ平面な状態に保たれるように設定されている。したがって、このバイメタルアクチュエータ 6 5 の上に型転写によって設けられた弁体 6 3 は、オリフィス 6 4 の位置にオリフィス 6 4 を閉鎖する状態で拘束される。これにより  
20 ベース 6 0 の側の第 1 の空間 6 7 と、仕切り板 6 1 の上側の第 2 の空間 6 8 は分離され、オリフィス 6 4 を経て流体は移動できない。

図 1 2 (b) は、周囲温度が高く、流体バルブ 6 2 が開いた状態を示してある。ベース 6 0 上に固定されたポスト 2 を通じて片端を固定されたバイメタルアクチュエータ 6 5 は温度が高くなるにつれて、バイメタル

アクチュエータ 6 5 の形成されている 2 種類の金属の膨張係数の違いで、  
バイメタルアクチュエータ 6 5 はベース 6 0 の側に徐々に反り返る。この  
バイメタルアクチュエータ 6 5 の動きに連動して、弁体 6 3 は、オリフィ  
5 ス 6 4 との間隔を徐々に広げるように移動する。図で示すとおりオリ  
フィス 6 4 をふさぐ形で配置されていた弁体 6 3 がオリフィス 6 4 から  
離れることにより、第 1 の空間 6 7 と第 2 の空間 6 8 は仕切り板 6 1 で  
仕切られた状態からオリフィス 6 4 を通じて空間的なつながる。その結  
果、第 1 の空間 6 7 の圧力が第 2 の空間 6 8 の圧力より高ければ、流体  
はオリフィス 6 4 をとおって第 1 の空間 6 7 から第 2 の空間 6 8 に流れ  
10 る。上述したように、本例の弁体 6 3 はニードル型に成形されており、  
流体弁 6 2 の開口率をリニアに制御できる。したがって、周囲温度に  
よって流体弁 6 2 を流れる流量は徐々に変動する。

このような弁体 6 2 は、光造形によっても製造することができるが、  
型転写の方が品質の安定したものと量産するには適している。また、上  
15 記にて記載したように、第 1 の微細構造部であるアクチュエータは、  
フォトリソグラフィ技術以外の方法を用いても製造することが可能であ  
る。

以上説明したように、本発明のマイクロマシン及びその製造方法は、  
20 駆動部となる動的な第 1 の微細構造部と、スイッチング機能あるいは光  
学素子としての機能を果す静的な第 2 の微細構造部とを備えたマイクロ  
マシンに好適なものである。動的な第 1 の微細構造部の上に、あるいは  
重ねて型転写により静的な第 2 の微細構造物を形成することにより、第  
2 の微細構造物については、少なくともシリコンプロセスなどの複雑な  
25 工程を経ることなく製造できる。そして、複雑な形状を容易に再現性良  
く形成できると共に生産性の向上にも寄与する。

特に、空間光変調装置のようにアレイ状に複数の素子を配置する際には、  
シリコンプロセスで全てを製造する場合に比べて、型転写は安定的  
に複製が可能なので欠陥の発生確率は格段に低くなり歩留りの向上にも

大きく寄与する。可動する第 1 の構造物周辺に犠牲層を設け、犠牲層のエッチング工程の前に第 2 の構造物を型転写で形成する事により、第 1 の構造物が犠牲層により固定された状態で第 2 の構造物を形成できる。したがって、第 1 の構造物に重ねて形成する第 2 の構造物の位置決め精度が向上すると共に、型転写時のストレスから第 1 の構造物の破壊を回避できる。したがって、より安定した品質のマイクロマシンを製造し提供することが可能となる。

また、同一の型を用いて第 1 の微細構造物上に設けられた第 2 の微細構造物と、これとは別の第 1 の微細構造物上に無い第 3 の微細構造物を型転写により形成する事が可能である。そして、同一の型によりこれら第 2 及び第 3 の微細構造物を製造することにより、これらの微細構造の間の位置ずれを防止でき、精密な位置合わせを実現できる。したがって、複数の微細な構造を組み合わせてマイクロマシンを組立てる必要があるものに本発明は非常に有効である。

さらに、型転写を行なう際の型を、光が透過する材料で作ることが可能である。光透過性の型であれば、その型の位置合わせが容易となり、また、CCDカメラを用いた位置合わせも可能となるので、生産性がさらに向上する。また、型転写に用いる材料を紫外線硬化樹脂とした場合には、光が透過する型を用いる事で型を通して紫外線照射で硬化を行なう事ができる。紫外線硬化樹脂での型転写は、溶解による型転写に比べ取り扱いが容易でアライメントにかかる時間も十分に取れる事から安定した生産が可能となる。

さらに、材料に樹脂やゴムなどガラス、金属に比べ硬度の低い材料であっても型形成で第 2 の微細構造を実現することが可能である。そして、そのような材料により型転写によって作られた第 2 の微細構造物であれば、他の構造物に接しさせて使用する際に密着度が向上するという利点を得ることができる。

本発明にかかるマイクロマシンは、光スイッチング素子、空間光変調装置に好適なものであり、それにより、光通信、光演算、光記憶装置、光プリンター、画像表示装置などを製造することができる。また、流体制御装置、温度検出装置、マイクロポンプなどの他の用途にも有用なマイクロマシンを本発明により提供することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 少なくとも1部が型転写により形成された所定の形状の第2の微細構造部と、この第2の微細構造部を駆動する第1の微細構造部とを有するマイクロマシン。  
5
2. 前記第2の微細構造部はスイッチング機能を備えている請求項1のマイクロマシン。
- 10 3. 前記第2の微細構造部は光学素子としての機能を備えている請求項1のマイクロマシン。
4. 前記第1及び第2の微細構造部がアレイ状に配置されている請求項1のマイクロマシン。  
15
5. 前記第1の微細構造部によって駆動されず、少なくとも前記第2の微細構造部に関連する部分が型転写により形成された所定の形状の第3の微細構造部を有する請求項1のマイクロマシン。
- 20 6. 前記第2の微細構造部と第3の微細構造部との間に所定の隙間または段差がある請求項5のマイクロマシン。
7. 前記第1の微細構造部がフォトリソグラフィ技術により形成されている請求項1のマイクロマシン。  
25
8. 前記第2の微細構造部は樹脂製である請求項1のマイクロマシン。
9. 前記第2の微細構造部は光硬化樹脂製である請求項8のマイクロマシン。

10. 前記第1の微細構造部の前記第2の微細構造部との境界面は非金属製である請求項8のマイクロマシン。

5 11. 所定の形状の第2の微細構造部を第1の微細構造部により駆動するマイクロマシンの製造方法であって、前記第1の微細構造部を製造した後に、該第1の微細構造部に重ねて、前記第2の微細構造部を、その少なくとも1部を型転写により形成する成型工程を有するマイクロマシンの製造方法。

10

12. 前記第2の微細構造部はスイッチング機能を備えている請求項11のマイクロマシンの製造方法。

15

13. 前記第2の微細構造部は光学素子としての機能を備えている請求項11のマイクロマシンの製造方法。

20

14. 前記第1及び第2の微細構造部がアレイ状に配置されており、前記成型工程において、これらアレイ状に配置された複数の第2の微細構造部それぞれの少なくとも1部を同一の型を用いて転写する請求項11のマイクロマシンの製造方法。

25

15. 前記マイクロマシンは前記第1の微細構造部によって駆動されない第3の微細構造部を有し、前記成型工程において、前記第3の微細構造部の少なくとも前記第2の微細構造部に関連する部分を同一の型を用いて転写する請求項11のマイクロマシンの製造方法。

16. 前記成型工程において、前記第2の微細構造部と第3の微細構造部との間に所定の隙間または段差を形成する請求項15のマイクロマシンの製造方法。

17. 前記成型工程の前に、第1の微細構造部をフォトリソグラフィ技術により形成するフォトリソグラフィ工程を有する請求項11のマイクロマシンの製造方法。

5

18. 前記フォトリソグラフィ工程においては、前記第1の微細構造部の周辺に設けられた犠牲層をエッチングせず、前記成型工程の後に、前記犠牲層をエッチングする工程を有する請求項17のマイクロマシンの製造方法。

10

19. 前記フォトリソグラフィ工程においては、前記第2の微細構造部が積層される境界面に金属膜を形成しない請求項17のマイクロマシンの製造方法。

15

20. 前記成型工程の前に、前記第1の微細構造部の周辺に犠牲層を設ける工程を有する請求項11のマイクロマシンの製造方法。

20

21. 前記成型工程の前に、前記第1の微細構造部または該第1の微細構造部の周辺を平坦化する工程を有する請求項11のマイクロマシンの製造方法。

25

22. 前記成型工程で用いられる型は、シリコン基板に所定の形状を異方性エッチングと等方向エッチングの組み合わせで形成したものである請求項11のマイクロマシンの製造方法。

23. 前記成型工程で用いられる型は、光透過性である請求項11のマイクロマシンの製造方法。

24. 前記成型工程で用いられる型は、1次型から反転成型された2

次型である請求項 1 1 のマイクロマシンの製造方法。

2 5 . 前記成型工程は、型を用いた状態で周囲を大気圧より低くする工程を備えている請求項 1 1 のマイクロマシンの製造方法。

5

2 6 . 前記成型工程は、型を用いた状態で周囲をほぼ真空状態にする工程を備えている請求項 1 1 のマイクロマシンの製造方法。

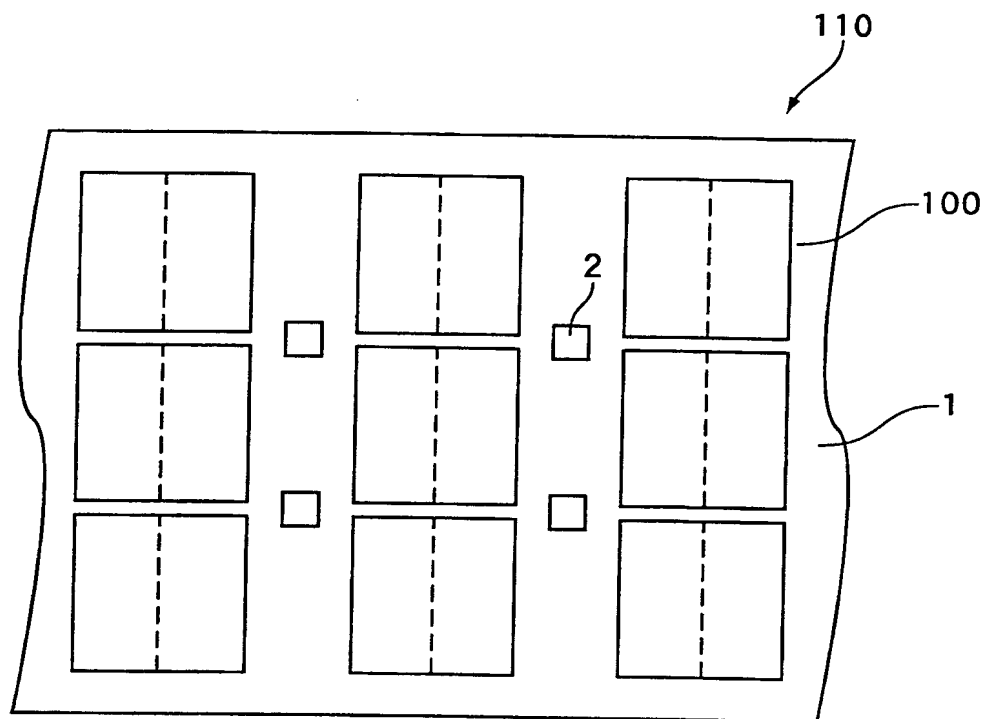
10

2 7 . 前記成型工程は、型転写により成型した後に一部を除去して前記第 2 の微細構造部を形成する工程を備えている請求項 1 1 のマイクロマシンの製造方法。



1 / 1 0

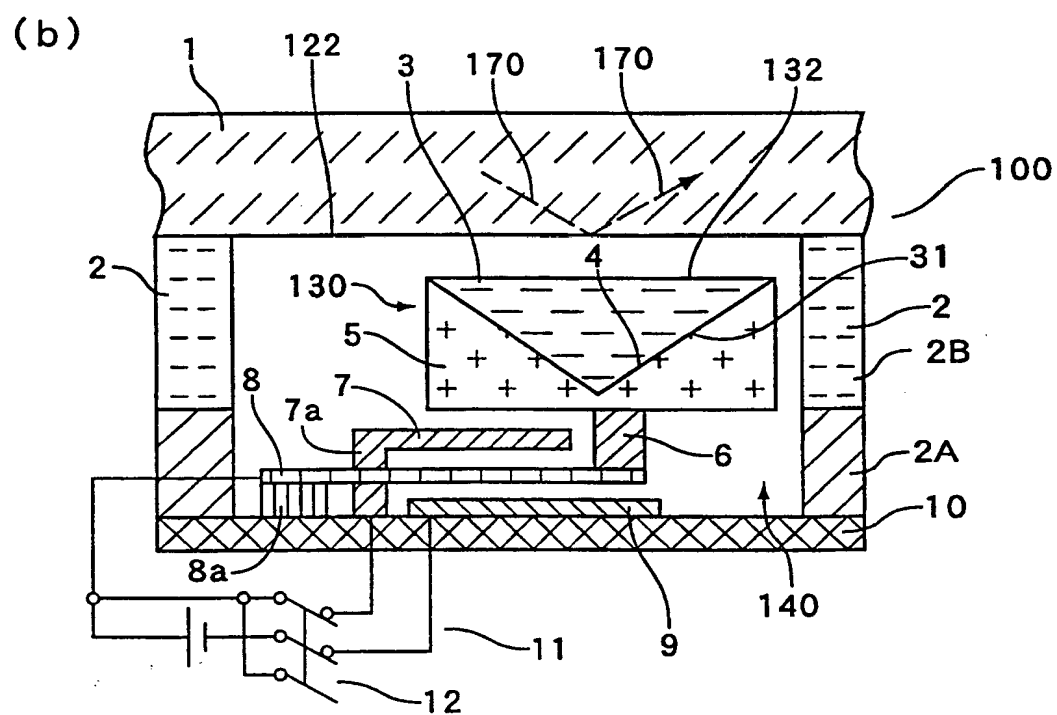
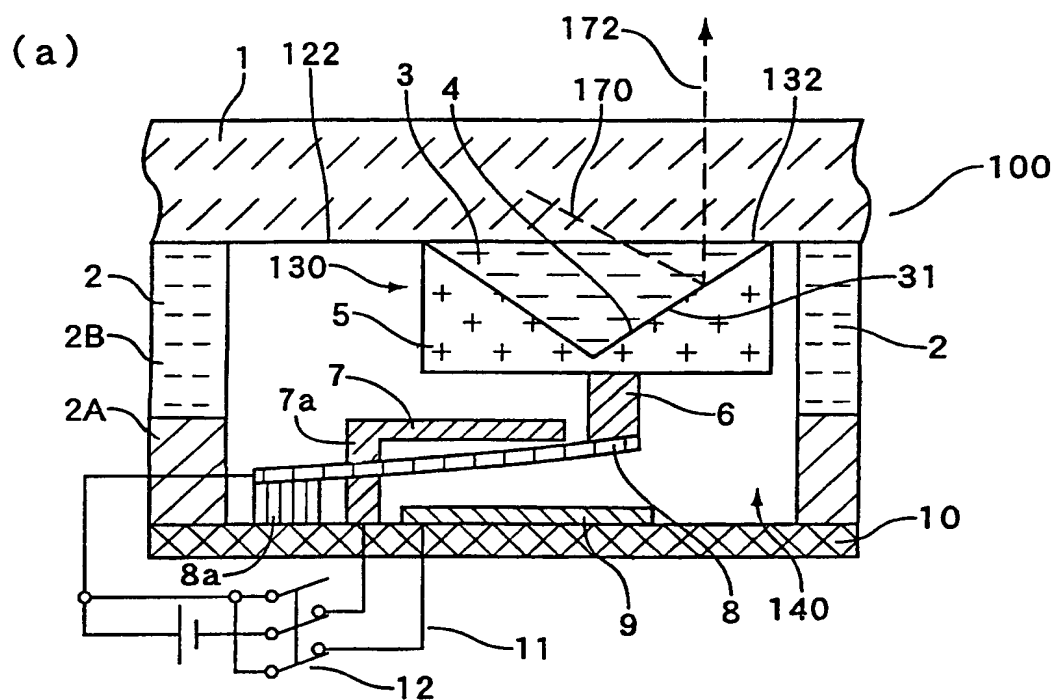
図 1





2 / 1 0

図 2





3 / 1 0

図 3

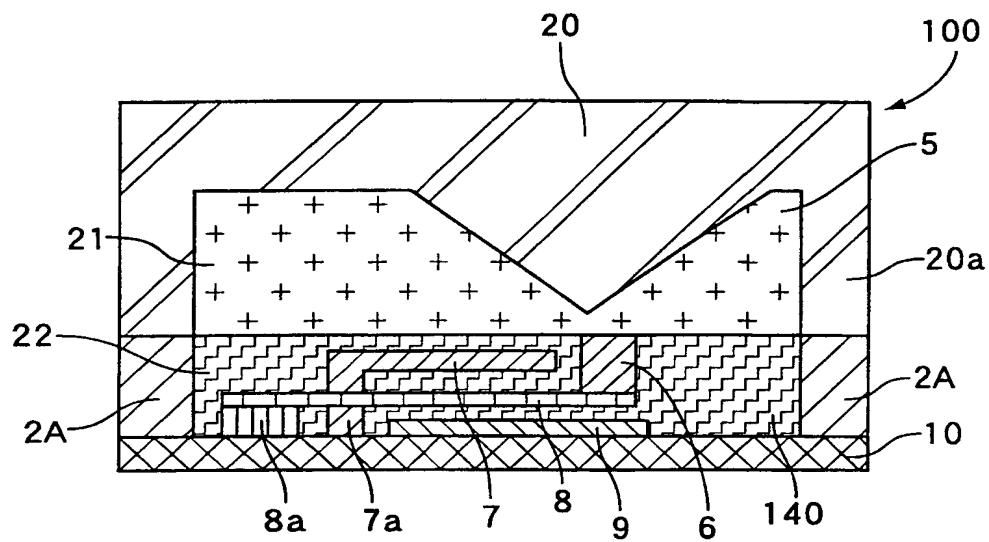
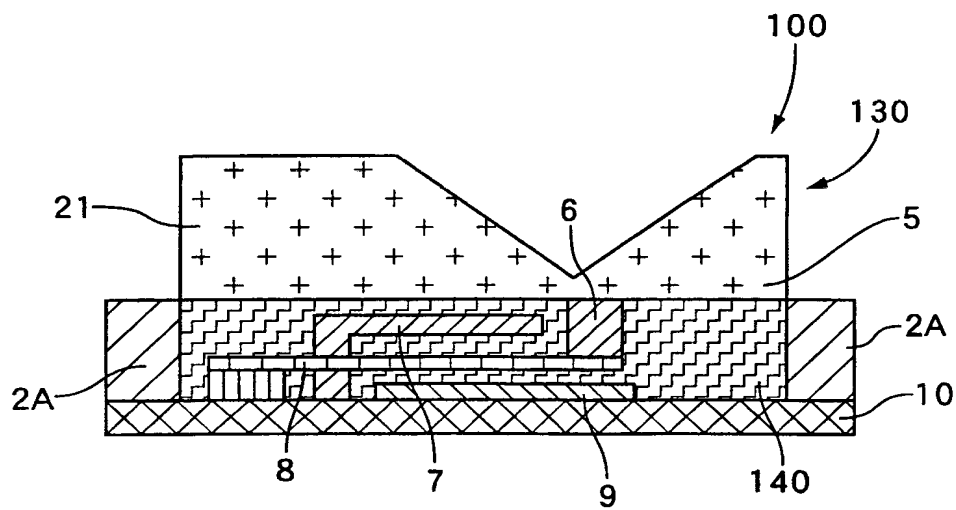


図 4





4 / 1 0

図 5

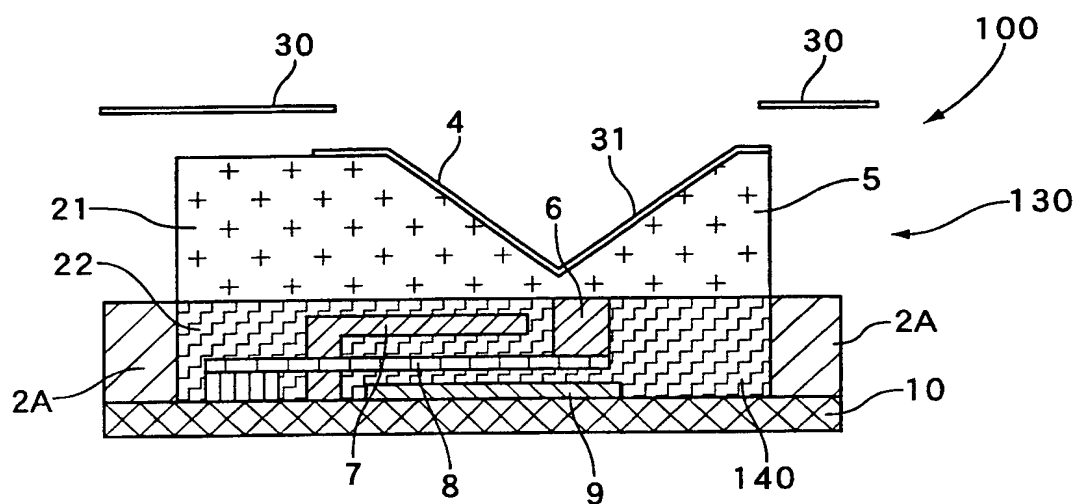
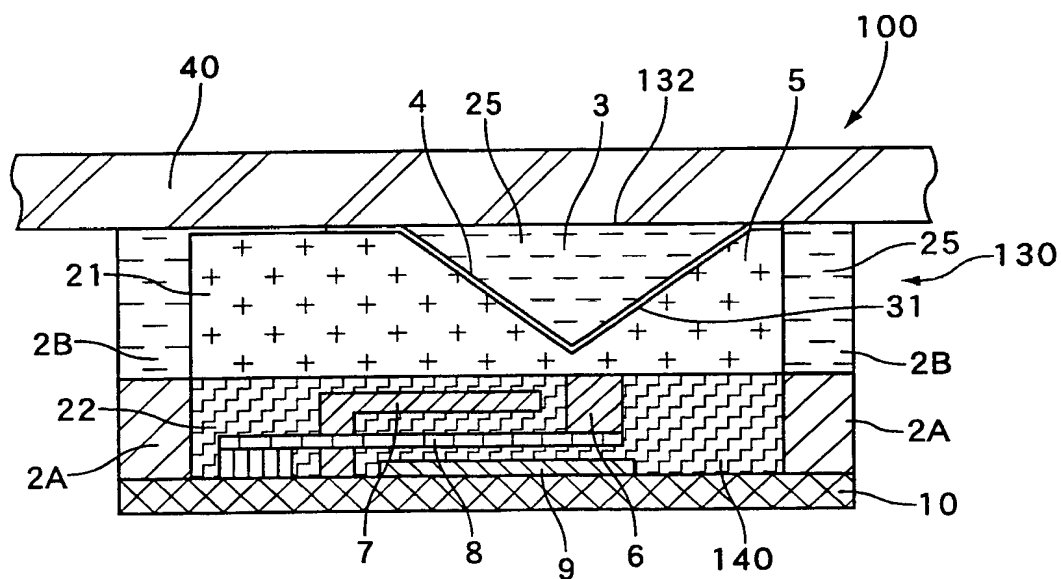


図 6







5 / 1 0

図 7

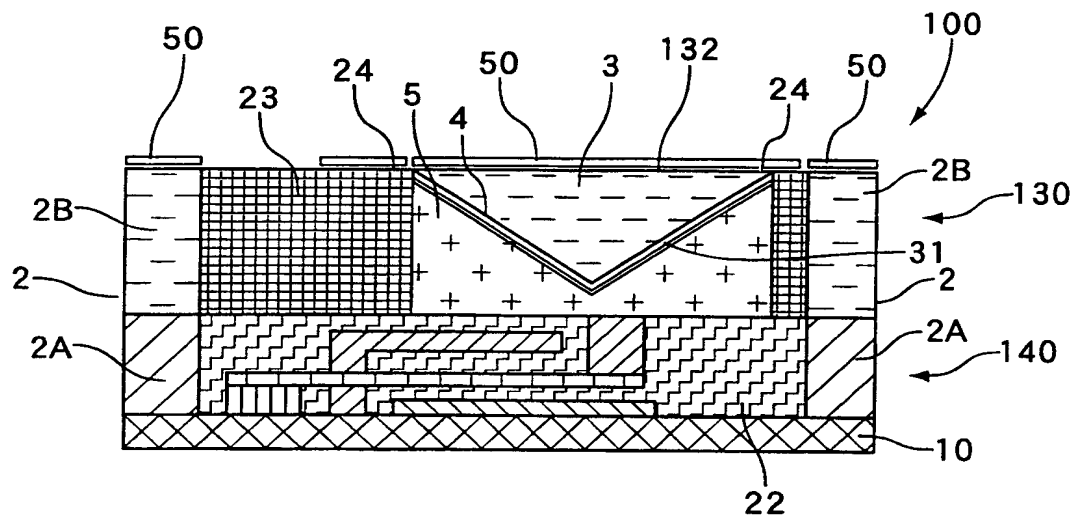




图 8

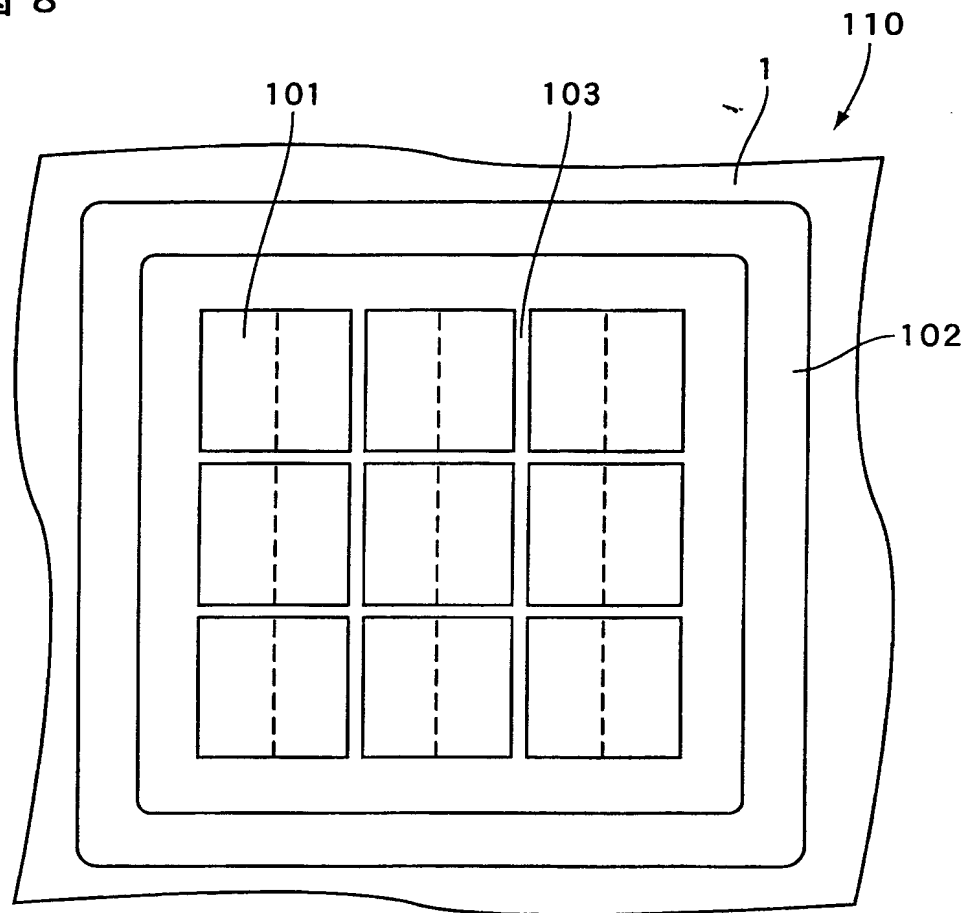
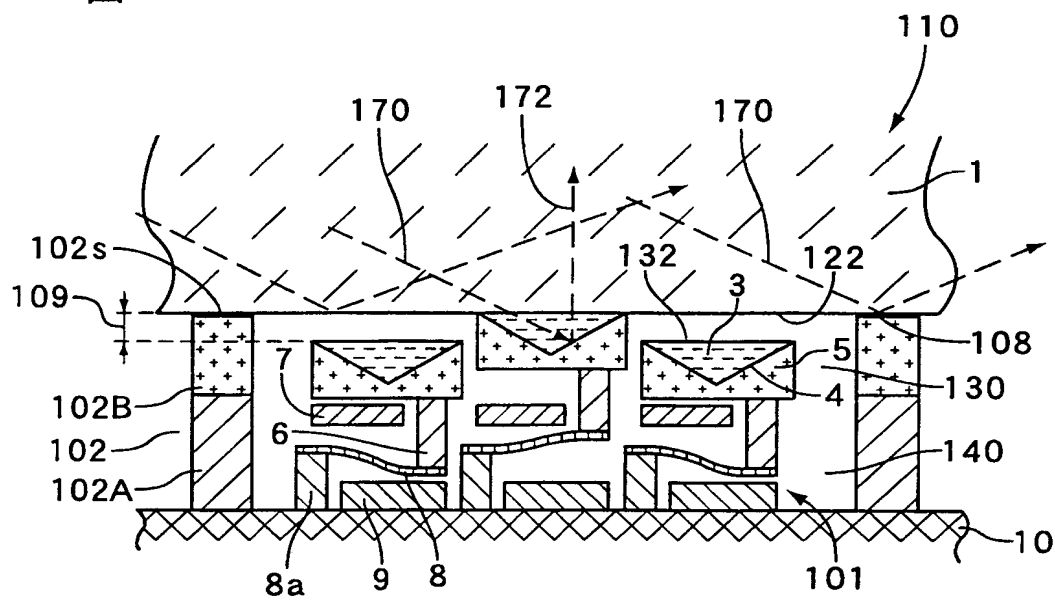


图 9





7 / 10

図 10

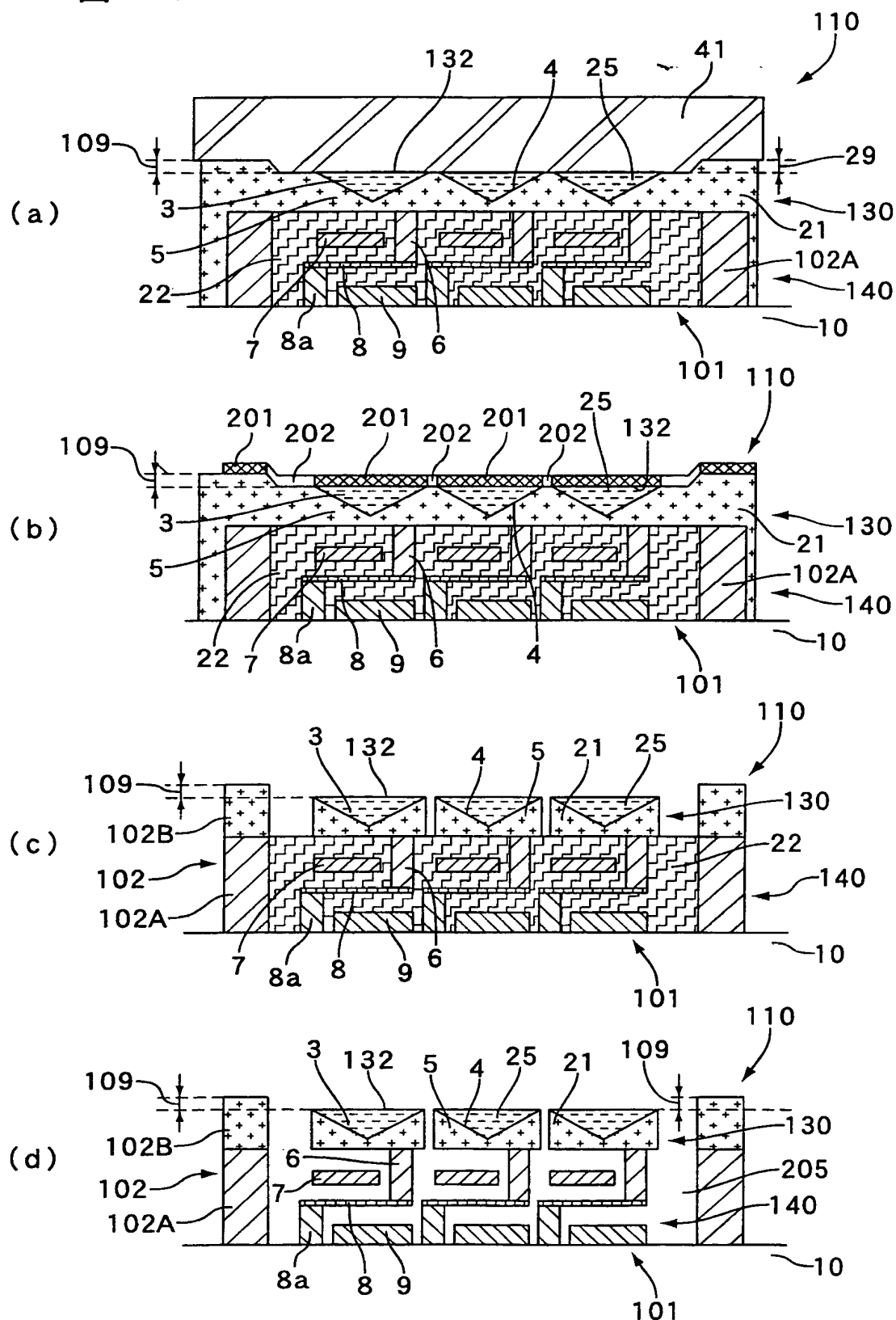
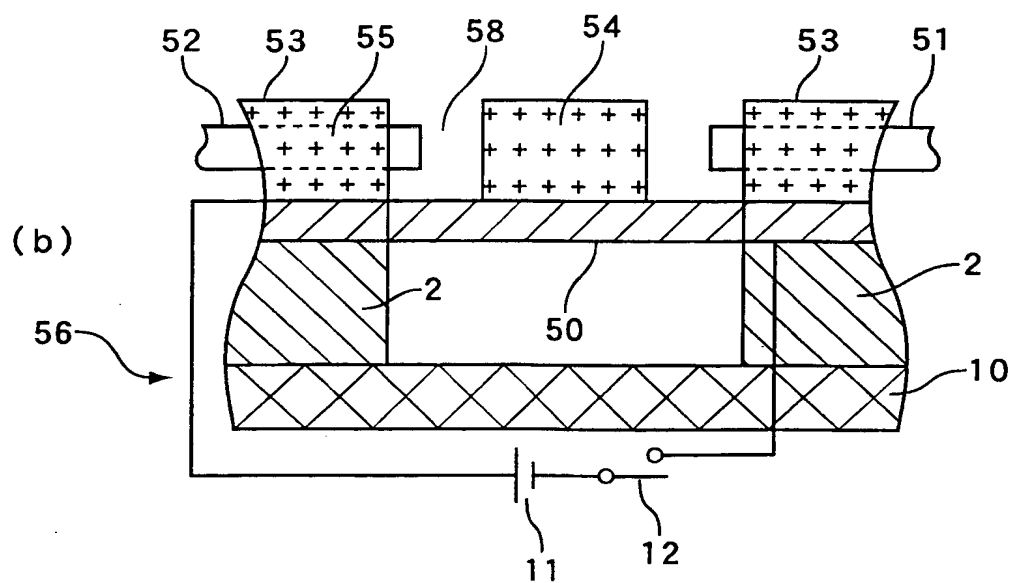
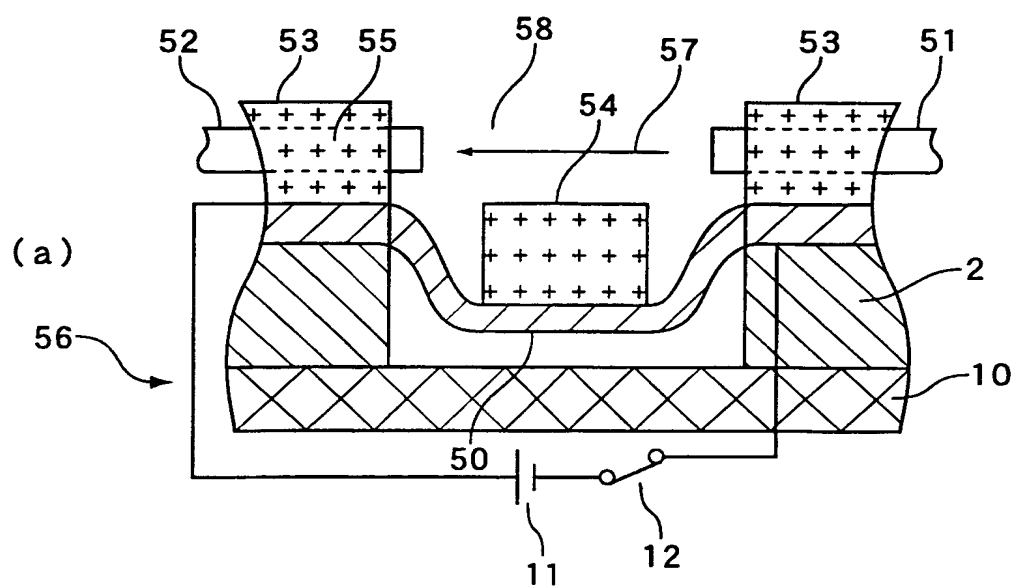




图 1 1

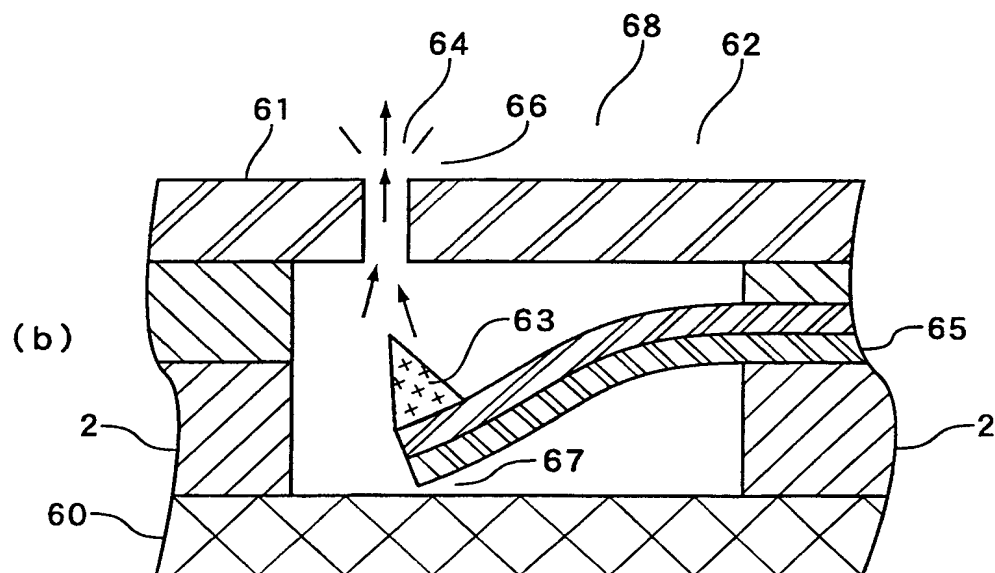
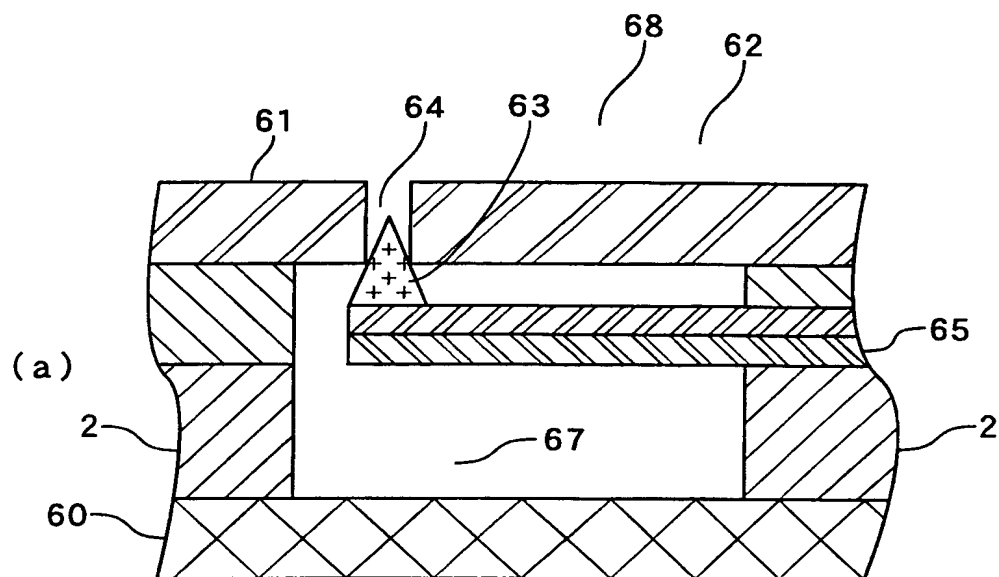






9 / 1 0

1 2





10/10

図 13

